







Braunschweigische  
Wissenschaftliche Gesellschaft

**Jahrbuch 1989**

---

**VERLAG ERICH GOLTZE GMBH & CO. KG · GÖTTINGEN**

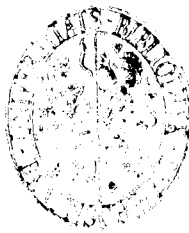
**1990**



Das vorliegende Jahrbuch ist beim Verlag und beim Buchhandel erhältlich.  
Preis DM 20,—

Gedruckt mit Hilfe von Forschungsmitteln  
des Landes Niedersachsen

BWG 3300 Braunschweig  
Fallersleber-Tor-Wall 16, Postfach 3329, Telefon (05 31) 3 91–45 96



ISSN 0931-1734  
ISBN 3-88452-235-3

Alle Rechte vorbehalten von  
Verlag Erich Goltze GmbH & Co. KG, 3400 Göttingen  
1990

Gesamtherstellung: Goltze-Druck, 3400 Göttingen

Printed in the Federal Republic of Germany

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG) . . . . .	9
 <b>PLENARVERSAMMLUNGEN</b>	
13.1.1989    Öffentliche Wissenschaftliche Plenarversammlung zum Jahreswechsel und anlässlich des 80. Geburtstages ihres Altpräsidenten Prof. Dr.rer.techn.habil. Karl Heinrich Olsen.	
Gerhard Oberbeck, Begrüßung und Eröffnung . . . . .	11
Glückwünsche:	
Gerhard Schön . . . . .	14
Hans Kistenmacher . . . . .	17
Werner Oldekop . . . . .	19
Heribert Boeder, Laudatio . . . . .	21
Georg Kluczka, Festvortrag: „Entwicklung und Spezialisierung der wichtigsten städtischen Zentren in der Bundesrepublik Deutschland“. . . . .	27
Karl Heinrich Olsen, Schlußwort . . . . .	35
10.2.1989    in Braunschweig	
Joachim Ehlers: „Bestattungsbrauch und Grablegen der deutschen Könige (Heinrich I. – V.)“ . . . . .	39
10.3.1989    in Braunschweig	
Konrad Buchwald: „Was wird aus der Nordsee und ihrem Küstenraum? Ökologische Trends, Zeitrahmen, umweltpolitische Konsequenzen“ . . . . .	75
14.4.1989    in Braunschweig	
Eduard Lohse: „Lehramt und Lehrautorität in der evangelischen Kirche“	
Dieser Beitrag ist in den Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Band XLI (1989), S. 39–54, erschienen.	
5.5.1989    in Hannover	
Karl Schügerl: „Optimierung alter biotechnologischer Verfahren“ .	77
8.7.1989    in Clausthal-Zellerfeld	
Karl-Dietrich Gundermann: „Ethische Aspekte moderner Naturwissenschaft und Technik“ . . . . .	81

- 13.10.1989 in Braunschweig  
Hans Pelzer: „Kinematische und dynamische Fragestellung der Geodäsie“  
Dieser Beitrag ist in einer schriftlichen Fassung nicht vorgelegt worden.
- 10.11.1989 in Braunschweig  
Hanns Joachim Weinert: „Was ist Mathematik?“ . . . . . 93

## KLASSENSITZUNGEN

### **Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik**

#### **Klasse für Ingenieurwissenschaften**

- 10.11.1989 gemeinsame Sitzung in Braunschweig  
Hans Dieter Baehr: „Atmosphärischer Treibhauseffekt und Ozonabbau – Die Suche nach alternativen Arbeitsstoffen für die Kältetechnik“ . . . . . 97

#### **Klasse für Ingenieurwissenschaften**

- 10.2.1989 in Braunschweig  
Rudolf Jeschar: „Optimierung von Ofenanlagen mit Wärmerückgewinnung aus dem Brenngut (Zement, Kalk, Keramik)“ . . . . . 99

#### **Klasse für Ingenieurwissenschaften**

#### **Klasse für Bauwissenschaften**

- 8.7.1989 gemeinsame Sitzung in Clausthal-Zellerfeld (Regularien)

#### **Klasse für Geisteswissenschaften**

- 14.1.1989 in Braunschweig  
Harmen Thies: „Zu den Wurzeln der Modernen Architektur“ (Teil II) . . . . . 129
- 15.4.1989 in Braunschweig  
Paul Raabe: „Goethe als Bibliotheksreformer“  
Dieser Beitrag ist erschienen in: „Bibliographie und Bericht“, Festschrift für Werner Schochow, München (Sauer) 1990, S. 153–174.
- 10.6.1989 in Braunschweig  
Jost Schillemeit: „Epische, lyrische und dramatische Poesie – Zur Entstehung der triadischen Gattungspoetik“ . . . . . 165
- 14.10.1989 in Braunschweig  
Heribert Boeder: „Rousseau oder der Aufbruch des Selbstbewußtseins“ . . . . . 167

11.11.1989	in Braunschweig Gregor Maurach: „Tacitus und Rubens über Senecas Tod“ . . . . .	171
9.12.1989	in Braunschweig Harmen Thies: „Systeme romanischer Wölbungen im 11. und 12. Jahrhundert“ . . . . .	187

## KOMMISSIONEN

Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte . . . . .	189
Kommission für Technik und Umwelt . . . . .	190
Kommission für Technik und Recht . . . . .	191

## ÖFFENTLICHE WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE IM RAHMEN DER FEIERLICHEN JAHRESVERSAMMLUNG

G. Leuchs, Garching: „Gravitationswellen“ . . . . .	193
J. Mlynek, Zürich: „Mechanische Lichte effekte an freien Atomen“ . . . . .	197
G. Müller, Berlin: „Der Laser in der Medizin“ . . . . .	199

## FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG 1989

Ansprache und Bericht des Präsidenten der BWG . . . . .	217
Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an Prof. Dr. rer. nat. Herbert Walther, München . . . . .	225
H. Walther: „Lasere xperimente mit einzelnen Atomen und der Test der Quan- tenphysik“ . . . . .	231
Urkunde und Lebenslauf des Preisträgers . . . . .	246
Schlußwort des Generalsekretärs der BWG . . . . .	249

## MITTEILUNGEN

Veröffentlichungen . . . . .	250
Geschäftliche Mitteilungen . . . . .	250
Satzung und Geschäftsordnung der BWG . . . . .	250

## PERSONALIA

Nachrufe . . . . .	251
Todesfälle . . . . .	253
Zuwahlen . . . . .	254
Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille . . . . .	258
Mitgliederverzeichnis . . . . .	261



## **Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft**

Im Jahre 1943 führten die Initiativen einiger Professoren der Braunschweiger Technischen Hochschule Carolo Wilhelmina zur Errichtung der „Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“, die – nachdem die vorgelegte Satzung von dem damals zuständigen Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung genehmigt worden war – am 9. Dezember 1943 mit einer feierlichen Sitzung eröffnet wurde. Das zu diesem Anlaß von dem ersten Vorsitzenden des Senats der neuen Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmidt, erstattete Referat gibt Auskunft über die zu dieser Gründung führenden Motive. Maßgebend war bei ihnen der Wunsch nach Überwindung eines allzu engen wissenschaftlichen Spezialistentums und einer einseitigen Orientierung der Forschung auf rasche Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Dies wird auch in der ersten Satzung der Gesellschaft deutlich. In deren § 1 bestimmt sie, „insbesondere soll sie über die fachlichen Grenzen hinaus die Bearbeitung von Gemeinschaftsaufgaben übernehmen und dazu beitragen, innere Beziehungen zwischen allen Wissens- und Lebensgebieten herzustellen“. Organisatorisch war die Neugründung als eine selbständige wissenschaftliche Gesellschaft mit eigenen Organen (Kuratorium, Senat, Fachbereiche) angelegt, jedoch war der jeweilige Rektor der Technischen Hochschule Braunschweig ex officio zum Präsidenten der Gesellschaft bestimmt, was aber wohl hauptsächlich auf eine administrative Vereinfachung abzielte.

Bis Ende 1944 wurde die Gesellschaft sodann durch die Berufung von Mitgliedern aus verschiedenen Fachgebieten personell ausgebaut, sie konnte in den letzten Monaten des zweiten Weltkrieges besondere Aktivitäten nicht mehr entfalten. Sie bestand indessen auch nach dem Kriege unter einem kommissarischen Präsidenten unverändert fort, jedoch wurden alsbald auch Maßnahmen eingeleitet, um die Gesellschaft uneingeschränkt zu verselbständigen, wobei von vornherein die Organisationsform einer Akademie der Wissenschaften angestrebt wurde, die im Kern durch Selbstergänzung, begrenzte Platzzahl und Gliederung im Fachbereiche ja bereits vorhanden war.

Vor allem wurde die Gesellschaft nun auch mit ihrem Plenum und ihren Abteilungen wissenschaftlich aktiv. In beiden Bereichen wurden wissenschaftliche Vorträge und Diskussionen durchgeführt, und initiiert von Prof. Dr. phil. Eduard Justi erschien 1949 der erste Band der als Publikationsorgan eingerichteten „Abhandlungen“. Im gleichen Jahre verlieh die Gesellschaft erstmalig die kurz zuvor gestiftete Carl-Friedrich-Gauß-Medaille. 1953 erhielt die Gesellschaft schließlich den Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechts. Mit dem Errichtungserlaß des Niedersächsischen Landesministeriums wurde ihr zugleich eine neue Satzung gegeben, in der freilich noch Teile der ehemaligen Satzung erhalten geblieben waren. Erst 1971 erhielt die Gesellschaft ihre heute gültige Satzung, die sie im Geiste einer Akademie der Wissenschaften mit deut-

lich technischem Schwerpunkt auszufüllen bestrebt ist. In diesem Rahmen finden laufend wissenschaftliche Plenar- und Klassensitzungen statt. Zur Durchführung langfristiger Forschungsvorhaben hat die BWG eine Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, eine Kommission für Technik und Umwelt und eine Kommission für Technik und Recht eingesetzt. Von den jährlich erscheinenden „Abhandlungen“ sind bisher 41 Bände und in der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte 4 Bände publiziert worden. Initiiert von Prof. Dr. techn. Karl Heinrich Olsen veröffentlicht die BWG seit 1983 Jahrbücher, die insbesondere über Vortragsveranstaltungen, Kommissionstätigkeiten und Personalia berichten.

## **Ansprache des Präsidenten der BWG** (Plenarversammlung und Festkolloquium)

Hochansehnliche Festversammlung,  
meine sehr verehrten Damen,  
meine Herren!

Nur wer an die Zukunft glaubt, schafft etwas in der Gegenwart! Ich begrüße Sie alle am Beginn des Jahres 1989 mit großer Herzlichkeit und in dem uns verbindenden Vor-satz, mit frischen Kräften unsere Arbeit fortzusetzen, aber auch aufgeschlossenen Geistes Neues zu beginnen.

Daß Ihnen zu solchem Tun auch im nun begonnenen Jahr Gesundheit, Schaffens-kraft und das dazu nötige harmonische Umfeld zu Gebote stehen mögen, – das ist mein ganz persönlicher Wunsch für jeden von Ihnen!

Der Jahreswechsel gibt jedem von uns Gelegenheit, Rückschau zu halten, Abläufe, Erfolge und Enttäuschungen des letzten Jahres gegeneinander abzuwägen und einzu-ordnen. Aber wer wollte dabei stehen bleiben? Das Ergebnis unserer Besinnung weist uns voran in die jeweiligen Kreise und Bindungen, in denen wir weiter planen, wirken und gestalten können.

Und so begrüße ich heute in diesem Sinne mit außerordentlicher Freude den Präsi-denten des Regierungsbezirks Braunschweig, Herrn Niemann.

Ein relativ überschaubares Gemeinwesen wie der Bereich Braunschweig bietet den Vorzug, daß es über die reine Verwaltung hinweg zwischen Öffentlichkeit und Wissen-schaft auch zu menschlicher Begegnung kommt; ich sehe darin eine Chance für so viele Aufgaben wissenschaftlicher Gestaltung.

Daher heiße ich Herrn Oberbürgermeister Glogowski zu unserer heutigen Feier-stunde besonders herzlich willkommen. Dankbar bin ich für das Interesse, das Herr Oberstadtdirektor Dr. Körner, der Kämmerer der Stadt, Herr Dr. Bräcklein, Herr Stadtbaurat Dr. Wiese, der Sozialdezernent, Herr Stadtbaurat Dr. Gröttrup, und unsere Kulturdezernentin, Frau Prof. Dr. Pollmann, mit ihrer Anwesenheit bekunden.

Mein Gruß gilt den Vertretern der politischen Parteien, darunter dem Ratsherrn, Herrn Kohl, als Mitglied des Landtags Herrn Herbst und dem Vorsitzenden der SPD-Fraktion, Herrn Steffens.

Eine wissenschaftliche Gesellschaft wie die BWG lebt mit aus der Universität, an der sie ihre Anbindung erfährt. Aus dieser Verbundenheit ist uns der Vicepräsident der Technischen Universität Carolo Wilhelmina, Herrn Prof. Dr. Oldekop, ein sehr gern gesehener Gast. Mit Aufmerksamkeit nehmen wir wahr, daß auch der Kanzler der T. U. Braunschweig, Herr Wagner, unter uns weilt.

Mit besonderer Freude begrüße ich den Präsidenten der Universität Göttingen, unseren Kollegen, Herrn Prof. Dr. Kamp, und als Vertreter der Akademie der Wissen-schaften zu Göttingen, Herrn Prof. Dr. Voigt.



In nachbarschaftlicher Verbundenheit heißen wir den Präsidenten der PTB, unseren Kollegen Herrn Prof. Dr. Kind, und den Präsidenten der FAL, Herrn Prof. Dr. Schön, herzlich bei uns willkommen.

Darüber hinaus ist es mir eine große Freude, Herrn Prof. Dr. Kieslich (GBF), die Präsidenten der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Herrn Prof. Dr. Kistenmacher und Herrn Dr. von der Heide, ebenso wie den Generalsekretär, Herrn Prof. Dr. Schramm, begrüßen zu dürfen.

In mancher Arbeit verbunden sind uns die Archivdirektoren von Wolfenbüttel und Braunschweig, Herrn Dr. Scheel und Herr Dr. Garzmann.

Mein Gruß gilt den Vertretern verschiedener Ämter der Stadt, von Industrie, Handwerkskammer und Wirtschaft, sowie den Damen und Herren von Presse und Funk.

Mit persönlicher Freude begrüße ich Herrn Innenminister a.D. Bennemann, der noch immer Anteil an unseren Festversammlungen nimmt. Schließlich wende ich mich im letzten Teil meiner Begrüßung dem zweiten Anlaß unserer heutigen Festsitzung zu:

Es gilt, gleichzeitig mit dem Neujahrsempfang den langjährigen Präsidenten und jetzigen Altpräsidenten der BWG, Herrn Prof. Dr. Olsen, zu ehren, der vor kurzem (am 20.12.1988) seinen 80. Geburtstag begehen konnte und der noch heute als Vorsitzender der Gesellschaft der Freunde der BWG aktiv ist.

Tradition entsteht, indem – wie als Glieder einer Kette – viele Persönlichkeiten in zeitlicher Abfolge ihre Kreativität in die Gestaltung einer alle verbindenden Idee einbringen. Es ist nicht zufällig, daß wir uns zu feierlichen Anlässen hier im historischen Rahmen der Dornse so wohlfühlen; auch hier lebt Vergangenheit in der Gegenwart wieder auf.

So können Sie meine Freude nachvollziehen, wenn ich heute, hier 4 Altpräsidenten mit großer Dankbarkeit begrüße:

Herrn Prof. Dr. Kroepelin,  
Herrn Prof. Dr. Gerke,  
Herrn Prof. Dr. Wilhelm  
und Herrn Prof. Dr. Olsen.

Jeder von Ihnen hat die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft mit unterschiedlichen Impulsen, mit andersartigen Akzenten versehen, – hat seinen persönlichen Stil wirken lassen.

Ludwig Börne sagte einmal:

„Die Lebenskraft eines Zeitalters  
liegt nicht in seiner Ernte,  
sondern in seiner Aussaat.“

Lassen Sie uns unsere Arbeit im kommenden Jahr gemäß dieser Maxime angehen. In den vergangenen 2 Jahren habe ich die Jahreshauptversammlungen der Akademien der Wissenschaften der Bundesrepublik Deutschland und der „Leopoldina“ in Halle aufmerksam besucht. Sie alle stehen – teils mehr, teils weniger – in einer langen Tradition ihrer Inhalte, ihrer Veröffentlichungen, ja, ihrer geistigen Präsentation. Dem sensiblen Beobachter fällt auf, in welchem Maße Nuancen gegenseitiger Wertschätzung

und In-Wert-Setzung den Hintergrund der in den Akademien geleisteten Arbeit und der in ihnen vertretenen Wissenschaftler interpretieren und würdigen.

Zu verbergen braucht sich da die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft keinesfalls.

Allerdings stünde es uns wohl an – hergeleitet aus dem Zusammenschluß der Technischen Universitäten Braunschweig – Hannover – Clausthal –, unserer besonderen inhaltlichen Akzentuierung im wissenschaftlich-technischen Bereich ein stärkeres Gehör zu verschaffen.

Gerade in Hinblick auf die zukunftsgerichtete Auseinandersetzung mit den modernen Technologien und dem Umgang mit ihnen auch im erweiterten europäisch-internationalen Rahmen drängen sich hier Themenbereiche zur Bearbeitung im Zusammenwirken verschiedener Disziplinen auf. Erste Schritte in diese Richtung sind mit der Einsetzung einer Kommission „Technik und Umwelt“ bereits unternommen. Eine weitere Kommission „Technik und Recht“ soll möglichst bald schon folgen. Wir sehen diesen Arbeiten mit Spannung und Erwartung entgegen.

Ich wende mich nun dem zweiten Anlaß unserer Festsitzung zu:

Lieber Herr Olsen,

in den Anfang des neuen Jahres fällt nun auch ihr Ehrentag, und ich nutze dieses offizielle Auditorium, um Ihnen noch einmal in unser aller Namen zu gratulieren und aufs Herzlichste Glück für viele weitere Jahre zu wünschen.

Jemand, der sich wie Sie über lange Jahre neben seiner beruflichen Tätigkeit ehrenamtlichen Aufgaben widmete und dafür seine Kraft und seine Fähigkeiten einsetzte, darf des Dankes aus vielen Richtungen gewiß sein.

Es ist hier nicht meine Aufgabe, Ihr Wirken zu charakterisieren, – das soll durch Herrn Prof. Dr. Boeder geschehen und in Gratulationsadressen anklingen.

Ich erlaube mir zum heutigen Anlaß, da schon mehrfach das Stichwort „Vergangenheit“ aufgenommen wurde, eine kleine Erinnerungsgabe, anknüpfend an Ihre Vergangenheit, zu überreichen:

das Wappen Ihrer Geburtsstadt Graudenz!

Ehefrauen sind allemal leidgeprüft durch die Aktivitäten ihrer Männer. Sie, verehrte gnädige Frau, liebe Frau Olsen, sind nicht davon verschont geblieben: man spricht von Autofahrten als Chauffeuse zu jeder Tageszeit u.a.m. Aber schon Euripides hat erkannt:

„Ein Weib sieht ihrem Gatten alles  
nach, wenn sie Vernunft hat.“

So haben Sie es stets gehalten.

Dafür gebührt Ihnen unser herzlicher Dank.

**Ansprache Prof. Dr. Gerhard Schön**  
**Präsident der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,**  
**Braunschweig-Völkenrode**

Herr Regierungspräsident,  
 Herr Oberbürgermeister,  
 Herr Präsident Oberbeck,  
 hohe Festversammlung,  
 sehr verehrter Herr Prof. Olsen!

Im Namen von Senat und Präsidium der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrod darf ich Ihnen, sehr verehrter Herr Kollege Olsen, auf-  
 richtung gratulieren. Der FAL hat aber auch Anlaß, einer Persönlichkeit zu danken,  
 die in mehr als 20jähriger wissenschaftlicher Tätigkeit die Geschicke dieser damals neu  
 gegründeten Forschungsanstalt mitbestimmte, ja ihre Geschichte nachhaltig mit  
 prägte.

1950 wurde der Jubilar als Abteilungsleiter an das neu gegründete Institut für land-  
 wirtschaftliche Betriebslehre der FAL berufen. Erinnern wir uns kurz:

Vorrangiges Ziel der Wirtschaftspolitik war die Versorgung der Bevölkerung  
 mit Nahrungsmitteln; Beinahe 1/4 der Bevölkerung waren in der Landwirt-  
 schaft tätig, 50% ihres Einkommens mußte der Normalhaushalt für die Ernäh-  
 rung aufbringen; Millionen Flüchtlinge mußten integriert und ernährt werden.

Diese Bedingungen gaben der Agrarwissenschaft ein besonderes Gewicht und ver-  
 schafften ihr eine Sonderstellung. Die damals dringenden Probleme der Ernährungs-  
 sicherung forderten die Agrarwissenschaften in besonderem Maße, und häufig mußten  
 Antworten auf recht schmaler wissenschaftlicher Basis gefunden werden, bis hin zu  
 Rezepten für eine eher bewahrende Agrarpolitik.

Um so erstaunlicher liest sich die Liste der Veröffentlichungen unseres Jubilars aus  
 dieser Zeit. Aus der Vielzahl nur einige wenige Beispiele:

- „Agrarwirtschaftliche Betrachtungen zur Landespflege und Landschafts-  
 gestaltung“ (1951);
- „Grundlagen der westdeutschen Agrarstruktur“ (1955);
- „Raumforschung als Wissenschaft“ (1960);
- „Raumordnung als Staatskunst“ (1963).

Gegen Ende Ihrer aktiven Dienstzeit rückte die wissenschaftliche Tätigkeit schein-  
 bar noch weiter vom aktuellen agrarpolitischen Tagesgeschehen ab. Die Stadt Rom  
 wurde Studienobjekt – vom „Frühen Rom – Geburt einer Stadt“ (1968) bis zur „Welt-  
 stadt Rom“ (1985) –, um den Gesetzmäßigkeiten menschlichen Wirkens in Zeit und  
 Raum nachzuspüren.

Inzwischen vollzog sich – nicht einmal in der kurzen geschichtlichen Spanne einer Generation – ein als dramatisch zu bezeichnender Strukturwandel:

3,5 Mio. Menschen haben der Landwirtschaft den Rücken gekehrt, der Anteil der landwirtschaftlichen Bevölkerung sank unter 5% – in wenigen Jahren werden es weniger als 2% sein.

Durch landwirtschaftliche Überproduktion, ermöglicht durch biologisch-technische Fortschritte und verstärkt durch die ökologische Kritik an den modernen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, steht heute die Landwirtschaft nicht nur vor einer ökonomischen, sondern auch vor einer tiefgehenden Sinnkrise.

Erst aus dieser Rückschau wird uns heute die hohe Aktualität des wissenschaftlichen Lebenswerkes unseres Jubilars bewußt. Erst das vertiefte Wissen um Strukturveränderungen und deren Gesetzmäßigkeiten schafft die Voraussetzung für Wege aus dieser Krise, auf die nicht nur die Landwirtschaft angewiesen ist, sondern die gesamte Gesellschaft.

Eine moderne, verstädterte Industriegesellschaft braucht für ein menschenwürdiges Dasein ein ökonomisch, ökologisch und wie ich meine, auch ein kulturell intaktes ländliches Umfeld. Dafür müssen neue, unkonventionelle Formen der Landbewirtschaftung entwickelt werden, nicht nur zur Nahrungserzeugung, sondern auch zur Rohstoffproduktion und zum Schutz und zur Pflege der Kulturlandschaft und der natürlichen Ressourcen.

Meine Damen und Herren,

erlauben Sie mir abschließend noch einige Anmerkungen zum wissenschaftlich-organisatorischen Wirken von OLSEN an unserer Anstalt.

1962 übertrug die FAL dem Jubilar die neugeschaffene Position eines Generalsekretärs, ursprünglich mit dem Ziel, das Verhältnis von Administration und Wissenschaft zu verbessern. Bald zeigte sich aber, daß dieses Amt von seinem Inhaber weit mehr forderte. Es galt, eine Anstalt des öffentlichen Rechts im Bereich des Landes Niedersachsen auf den Bund in den Ressortbereich des Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten überzuführen. Dies befreite die FAL von drängenden und bedrängenden finanziellen Sorgen, nahm ihr aber die eigene Rechtsfähigkeit.

Aus Ihren persönlichen Erfahrungen wußten Sie, Herr Kollge Olsen, welche Gefahren für eine unabhängige Forschung damit verbunden sein können. Ihnen und Ihren Mitstreitern schwebte eine „Gelehrtenrepublik“ vor – nicht als Privileg, sondern als effektivste Organisationsform wissenschaftlichen Tuns. In einer Zeit, in der selbst die Universitäten mit Hochschulreformen von Oben überzogen wurden, war dieser hohe Anspruch nicht durchzusetzen. Ihrem Verhandlungsgeschick und Ihrer Beharrlichkeit verdanken wir es aber mit, daß unsere Forschungsanstalt auf den Bund bei voller Wahrung der wissenschaftlichen Selbständigkeit und inneren Organisationsfreiheit überführt wurde; sie erhielt damit innerhalb der Forschungsanstalten des Bundes einen einmaligen Sonderstatus.

Diese wissenschaftliche Selbstverantwortung wurde von Anfang an und wird heute wieder verstärkt in Frage gestellt. Je mehr die Öffentlichkeit erkennt, daß Wissenschaft und Forschung zum beinahe wichtigsten Produktionsfaktor geworden sind, je mehr Entscheidungen im politischen Raum der wissenschaftlichen Vorarbeit und Abwägung bedürfen, um so mehr ist die Forschung dem Zugriff von Politik und Administration ausgesetzt. Aber auch der Wissenschaftler unterliegt zunehmend der Verführung, seine Arbeit an kurz atmigen Modethemen zu orientieren und sich in der tagespolitischen Auseinandersetzung zu verschließen.

Helmut Schmidt schreibt hierzu rückblickend in einem ganz anderen Zusammenhang:

„Je weiter man der Meinung des Publikums oder seiner Erwartung entgegenkommt, um so größer ist die Gefahr, auf Orientierung und ...man könnte beifügen: Glaubwürdigkeit... zu verzichten“.

Dies gilt für die Politik, und dies gilt im besonderem Maße für die Wissenschaft.

Bei der Wahrung dieser wissenschaftlichen Unabhängigkeit genügt die rechtliche Grundlage nicht allein; hierzu bedarf es der Tradition und des Geistes einer wissenschaftlichen Einrichtung, beides kann nur durch das Wirken und das Vorbild herausragender Persönlichkeiten geschaffen werden. In diesem Sinne, Herr Kollege OLSEN, haben Sie und Ihre Generation die FAL geprägt. Dieser hohe wissenschaftliche Anspruch durchzieht wie ein roter Faden Ihr jüngstes Werk, die Geschichte der FAL. Dafür ist Ihnen gerade die nachrückende Generation zu großem Dank verpflichtet, die sie aber auch verpflichtet, in der täglichen Arbeit diese Tradition fortzuführen.

Daß diese Hoffnung nicht ganz unbegründet ist, mag Ihnen ein Zitat aus einem weitverbreiteten wissenschaftlichen Magazin belegen. Als Niemann, einer unserer jungen Molekularbiologen aus der „Enkelgeneration“ der FAL nach dem Sinn seines Tuns gefragt wurde, gab er folgendes zu Protokoll: „Es geht uns darum, wahrhaftig Wissenschaft zu machen: von den Dingen so zu berichten wie sie sind, und nicht wie sie von der Öffentlichkeit gerne gesehen werden möchten“.

**Ansprache Prof. Dr. Hans Kistenmacher**  
**Präsident der Akademie für Raumforschung und Landesplanung**

Hohe Festversammlung,  
sehr verehrter, lieber Herr Olsen,

ich freue mich, Ihnen im Rahmen dieser Festveranstaltung und aus Anlaß Ihres 80. Geburtstages die besten Grüße und Wünsche der Akademie für Raumforschung und Landesplanung überbringen zu dürfen. Wir wünschen Ihnen insbesondere gute Gesundheit und die Erhaltung Ihrer so bewundernswerten Schaffenskraft, wovon Sie uns in den letzten Jahren immer wieder eindrucksvolle Beispiele lieferten. Die Einschränkungen, denen Sie sich aus gesundheitlichen Gründen fügen mußten, haben Ihr großes Engagement für ein breitgefächertes Aufgabenfeld nicht mindern können. In vorbildlicher Weise haben Sie bis heute jenen Institutionen, die selbst Teil Ihres Lebenswerkes sind, zur Verfügung gestanden. Dafür gebührt Ihnen Dank und Anerkennung.

Eine der Institutionen, die Ihnen, lieber Herr Olsen, zu besonderem Dank verpflichtet sind, ist unsere Akademie. Seit 1946 besteht die nunmehr vom Bund und den Ländern getragene Akademie für Raumforschung und Landesplanung mit Sitz in Hannover. 1953 erhielt sie ihre Satzung und damit ihren Rechtsstatus. Sie Herr Olsen, gehörten zu den ersten Ordentlichen Mitgliedern, nachdem Sie bereits vorher Verbindung zur Akademie hatten. In vielfältiger Weise haben Sie in diesen Pionierjahren unserer Akademie an der Ausfüllung des Satzungsrahmens und der Gestaltung der wissenschaftlichen Arbeit mitgewirkt.

Es würde zu weit führen, aufzuzählen, in welchen Forschungsgremien der Akademie Sie tätig waren. Herausheben möchte ich hier, daß Sie unsere Landesarbeitsgemeinschaft Norddeutsche Bundesländer ebenso wie einen Forschungsausschuß zu raumordnungsrelevanten Fragen des Verkehrswesens lange Jahre geleitet und jeweils zu vielbeachteten Ergebnissen geführt haben.

Sie haben aber auch Verantwortung für die Geschicke der gesamten Akademie übernommen und an maßgeblicher Stelle deren Tätigkeit über viele Jahre hinweg in entscheidender Weise bestimmt.

So waren Sie von 1959 bis 1965 Präsident der Akademie, nachdem Sie zuvor zwei Jahre lang bereits als Vizepräsident dem Präsidium angehörten. In dieser Zeit haben sich unter Ihrer vorbildlichen Leitung die Organisationsstrukturen und Arbeitsweisen herausgebildet, die auch heute unsere Akademie prägen.

Sie haben sich stets besonders für den Ausbau der interdisziplinären Zusammenarbeit eingesetzt, worauf die Raumforschung als fachübergreifendes Wissenschaftsgebiet in besonderem Maße angewiesen ist. Gleichzeitig förderten Sie das enge Zusammenwirken von Forschung und Planungspraxis im Sinne einer wichtigen Aufgabe der Akademie, wissenschaftliche Erkenntnisse der sinnvollen Gestaltung der räumlichen Ordnung unseres Landes nutzbar zu machen.

Dank Ihrer Initiative sind zahlreiche Forschungsaktivitäten durchgeführt worden, die unser gesamtes Wissenschaftsgebiet ein gut Stück vorangebracht haben. Die Bibliographie unserer Veröffentlichungen beweist, daß Sie dabei nicht nur Organisator und Steuermann waren, sondern selbst als Autor vieles wichtige beigetragen haben. Sie haben sich damit um unsere Akademie verdient gemacht. Ich freue mich, daß ich diese Feststellung hier nicht nur rückblickend treffen kann, denn wir erleben nach wie vor Ihr intensives Engagement im Rahmen unserer Forschungstätigkeit. In diesem Zusammenhang darf ich Ihnen auch versichern, daß wir Ihr wissenschaftliches Anliegen und Ihre Vorschläge im Hinblick auf die Zukunftsprobleme ländlicher Räume nachdrücklich unterstützen werden.

Ich wünsche Ihnen für die Zukunft alles Gute in der Hoffnung, daß Sie uns weiterhin mit Ihrem geschätzten Rat zur Verfügung stehen und aktiven Anteil nehmen am weiteren Gedeihen der Akademie, die ein Teil Ihres Lebenswerkes verkörpert. Ich verbinde damit auch meinen persönlichen Dank für die Förderung und Unterstützung, die Sie mir damals als jungem Akademie-Mitglied zuteil werden ließen und für die wertvollen Anregungen, die ich als Akademie-Präsident von Ihnen entgegennehmen durfte.

## **Ansprache Prof. Dr. Werner Oldekop**

**Vizepräsident der Technischen Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig**

Sehr verehrter Herr Kollege Olsen,  
sehr geehrter Herr Präsident,  
meine Damen und Herren,

Herr Prof. Olsen war nicht nur jahrzehntelang Mitglied und später Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Präsident der Akademie für Raumforschung und Landesplanung in Hannover und Generalsekretär der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode, was meine Vorredner bereits eingehend gewürdigt haben, sondern fast zwanzig Jahre lang auch Mitglied des Lehrkörpers unserer Technischen Universität Carolo Wilhelmina. Zwischen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft und unserer Universität bestehen seit jeher besonders enge Verbindungen, und so ist es nur natürlich, daß Herr Olsen schon bald nach Kriegsende seine umfangreichen Kenntnisse und Erfahrungen auch unserer Hochschule zur Verfügung stellte.

Nachdem der junge Dr. Olsen sich bereits 1939, also vor 50 Jahren – an der TH München habilitiert hatte, erfolgte 1954, also vor 35 Jahren, seine Umhabilitation an die damalige TH Braunschweig. Die *venia legendi* galt für die Fächer Agrarpolitik, landwirtschaftliche Betriebslehre und Wirtschaftsgeographie. 1958, also vor etwas über 30 Jahren, folgte die Ernennung zum apl. Professor in unserer Fakultät für Naturwissenschaften.

Sie sehen, daß wir es auch hier mit lauter runden Zahlen zu tun haben: 80. Lebensjahr, 50 Jahre Privatdozent, 30 Jahre Professor.

In den insgesamt 19 Tätigkeitsjahren an unserer Hochschule (von 1954 bis 1973) hat Herr Prof. Olsen wohl an die 1000 Vorlesungsstunden vor seinem Auditorium gestanden (20 Jahre x 2 Semester/a x 25 Vorlesungsstunden/Sem.). Dabei wurde den Studenten ein breites Wissensspektrum von der Wirtschaftsgeographie spezieller Regionen wie z.B. Europas oder Afrikas bis zu allgemeinen Fragen der Raumordnung und Landesentwicklung vermittelt. In seinen Vorlesungen über Wirtschaftsgeographie hat Herr Prof. Olsen schon damals, d.h. vor 20 oder 30 Jahren, Themen behandelt, die heute im Zusammenhang mit Fragen der Agrargeographie oder der Entwicklungshilfe von größter Bedeutung sind. Wir sind zur Zeit gerade dabei, einen neuen Studiengang für Geoökologie ins Leben zu rufen, bei dem geographische und ökologische Probleme aus einheitlicher Sicht behandelt werden sollen. (Zusammenhang mit Sonderforschungsbereich „Wasser- und Stoffdynamik in Agrar-Ökosystemen.)

So ist es wohl nicht verwunderlich, daß sich die Vorlesungen von Herrn Prof. Olsen schon damals großer Beliebtheit und großen Interesses erfreuten. Mir wurde berichtet, daß sich diese Vorlesungen vor allem durch ihre Praxisnähe und die persönlichkeitsbedingte Qualität des Vortrags ausgezeichnet hätten und von sehr vielen Studenten und



Studentinnen besucht worden wären. Namentlich auf die Studentinnen müssen diese Vorlesungen großen Eindruck gemacht haben, denn eine Ihrer damaligen Hörerinnen, verehrter Herr Olsen, hat mir erst vor wenigen Tagen voller Begeisterung und Ehrerbietung von Ihren Vorlesungen berichtet. Diese besonders fähige und zugleich attraktive junge Dame (damals wie heute junge Dame) befindet sich auch jetzt in diesem Raum und freut sich schon darauf, Ihnen anschließend persönlich gratulieren zu können.

Ich darf vielleicht noch ergänzen, daß auch die von Herrn Prof. Olsen veranstalteten Exkursionen von großer Attraktivität waren, denn es wurden pro Semester regelmäßig verschiedene Betriebe unserer Region besucht, wie z.B. Molkereien und Brauereien, wobei die Brauereien immer den Abschluß bildeten und nur von denjenigen Studenten besucht werden durften, die vorher auch die Molkereien besichtigt hatten. Sie erkennen daraus, daß Herr Prof. Olsen auch über beachtliche pädagogische Fähigkeiten verfügt.

Es ist für mich deshalb eine besondere Ehre, Ihnen, sehr verehrter Kollege Olsen, die Grüße und Glückwünsche unserer Technischen Universität übermitteln zu dürfen und Ihnen bei dieser Gelegenheit nochmals für Ihre langjährige und erfolgreiche Lehrtätigkeit an unserer Carolo-Wilhelmina zu danken. Als kleines Geschenk möchte ich Ihnen gerne diesen Wandteller mit dem Wappen unserer Hochschule übergeben.

## **Ansprache Prof. Dr. Boeder**

Mit einer wohlbedachten Laudatio hat es allbekannte Schwierigkeiten. In der Hauptsache diese: Die Würdigung muß selber würdig sein. Dazu gehört die ausgewiesene Befugnis des Würdigenden zum lobenden Wort. Entweder die Befugnis aus einer für gewöhnlich überlegenen Urteilskraft, wie wir sie den Eltern gegenüber ihren Kindern, dem Lehrer gegenüber seinem Schüler, dem Architekten gegenüber dem Maurer zubilligen, oder die Befugnis aus einer für gewöhnlich ebenbürtigen Urteilskraft – ebenbürtig in der Beurteilung alles dessen, was unsere allgemeinen Pflichten und Rechte betrifft; ebenbürtig aber auch, was ein Urteil anlangt, das auf je besonderer Sachkenntnis beruhen muß. Solche Vorerinnerung legt mir eben jener nüchterne Sinn nahe, den schon eine flüchtige Begegnung an unserem Herrn Olsen merken läßt.

Es geht hier um die Würdigung eines Kollegen, eines Wissenschaftlers, des vormaligen und langjährigen Präsidenten unserer Wissenschaftlichen Gesellschaft. Offensichtlich erstreckt sich meine Befugnis zum Lob nicht auf die wissenschaftlichen Leistungen, deren Beurteilung Sachkenntnis in eben jener Disziplin erfordert, die Herr Olsen durch seine Forschungen bereichert hat. Bereichert? Habe ich hier meine Urteilsbefugnis nicht schon überschritten? Nein; denn die Gesellschaft hat schon bei der Aufnahme eines jeden Mitglieds so geurteilt; Fachkundige haben geurteilt. Darüber hinaus aber könnte unsere Gesellschaft keine Einheit sein, wenn nicht jedem Mitglied zuzutrauen wäre, auch ohne in anderen Disziplinen als der seinen zuhause zu sein, über den wissenschaftlichen Zuschnitt eines Kollegen urteilen zu können – dies innerhalb der Grenzen methodischer Verwandtschaften, welche die Wissenschaften, welche die Techniken verbinden. Sonst wäre jede Abstimmung des Plenums der Gesellschaft über die Aufnahme von Mitgliedern eine geradezu antiwissenschaftliche Anmaßung.

Herrn Olsens wissenschaftliche Verdienste sind seit seiner Aufnahme auch innerhalb der Gesellschaft wiederholt gewürdigt worden. Um kurz zu erinnern: Der Bereich seiner Forschungen weitete sich von der Landwirtschaft über die zugehörige Betriebslehre zur Wirtschaftsgeographie und weiter zur Raumordnung aus – zum einen an der hiesigen Universität, an der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, zum anderen innerhalb der Deutschen Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Die Anerkennung, die seine Tätigkeit fand, ist an seiner Wahl zum Präsidenten dieser Akademie, an seiner Berufung in die Kommission zur Neugliederung des Bundesgebietes, schließlich mit der Verleihung des Großen Bundesverdienstkreuzes offenkundig geworden. Der letztlich herrschende Blickpunkt seiner Bemühungen ist in dem Buchtitel „Raumordnung als Staatskunst“ aufs prägnanteste angesprochen. Eine Staatskunst, die Herrn Olsens Augenmerk während der letzten beiden Jahrzehnte vor allem auf das Paradigma der Stadt Rom sammelte. Unsere Klasse erinnert sich gerne an die Reihe von anregenden Vorträgen, die er zu diesem Thema hielt.

Heute ist Herr Olsen aber nicht so sehr als Mitglied unserer Gesellschaft, vielmehr als deren langjähriger Präsident zu würdigen. Wie seine Vorgänger in diesem Amt hat er – von vielen bewundert – die Pflichten der Führung und der öffentlichen Darstellung, nicht zuletzt im Verband der Akademien unseres Landes, aufs geschickteste wahrgenommen. Dies mit einem besonders ausgeprägten Verständnis für die Aufgaben und die künftige Stellung unserer Gesellschaft. Versuchen wir eine Laudatio seiner Intentionen.

Um sie von den Gründungszielen der Gesellschaft her aufzunehmen, wie sie die kurze Geschichte im Jahrbuch 1987 erwähnt. Sie zeigen die Merkwürdigkeit, auf eine damals allenthalben heraufziehende, heute allenthalben aufdringliche, Krise im Leben der Wissenschaften zu antworten. Einmal angesichts der fortschreitenden Horizontverengung der Forscher durch die notwendige Spezialisierung; genauer: durch die Zersplitterung der Gegenstandsbereiche, sodann angesichts der immer aufdringlicheren Forderung nach einer raschen und weiter zu beschleunigenden Verwertung wissenschaftlicher Ergebnisse nach Maßgabe der gesellschaftlichen Bedürfnisse. Beidem entgegenzuwirken, war die Gründungsabsicht unserer Gesellschaft – entsprungen einem tiefgreifenden Wandel im Selbstverständnis der Wissenschaften. Dieses von Herrn Olsen wohlbedachte Motiv unterscheidet sich deutlich von den Absichten älterer Akademiegründungen.

Um hier kurz an ein vornehmes Beispiel, nämlich die Londoner Royal Society zu erinnern. Auch sie war eine reaktive Gründung inmitten einer radikalen Wandlung des Wissenschaftsverständnisses – nämlich gegen die vom Aristotelismus beherrschten Naturwissenschaften an den Universitäten. Daher ihr Motto: Nullius in verba – will sagen: Auf die Worte keiner Autorität schwören – stattdessen, wie die Gründer ausdrücklich forderten, die Forschung „durch Beobachtung und Experiment“ fördern. Dies ist lange vor der Gründungszeit unserer Gesellschaft zu einer Selbstverständlichkeit geworden, zumal seit der Mitte des 19. Jahrhunderts ein neuer Typus von Forschung, getragen von der öffentlichen Hand, aufgekommen war: ihre Organisation in Instituten. Sie wächst in die Verwandtschaft mit der Industrie hinein, die denn auch solche Organisation unverändert in eigene Regie übernehmen konnte.

Die wissenschaftliche Forschung geht nicht etwa durch eine neuartige Beanspruchung seitens der Industrie oder der Volkswirtschaft überhaupt in ihre technische Bestimmung ein; ist doch der Zug zur Anwendung ihrer Ergebnisse, etwa in der Medizin, so alt wie sie selbst. Vielmehr handelt es sich um eine geschichtliche Situation, in der die Wissenschaften von der sie vormalig einigenden Vernunft, nämlich dem Vermögen der Prinzipien, sich selbst überlassen sind. Die erwähnten Gründungsanstöße unserer Gesellschaft entspringen einer sich selbst undurchsichtigen Beunruhigung. Es fehlt der vormalige Grund einer systematischen Einheit aller Wissenschaften und mit ihm der Grund, weshalb Erkenntnis um ihrer selbst willen gesucht werden konnte.

Was hat dieser Hinweis mit Herrn Olsens Verdiensten zu tun? Er hat trefflicherweise bei jeder Gelegenheit davor gewarnt, unsere Gesellschaft als Anhängsel einer Universität zu sehen. Sie darf nicht unter derselben Verpflichtung stehen wie die universitären Organisationen und deren übergreifende – sagen wir: Dienststellen, wie etwa

Rektorenkonferenz, Wissenschaftsrat und dergleichen. Sonst wird sie nie eben jenes anfängliche Zurücktreten vor der fortschreitenden Verengung und durchgängigen Ökonomisierung des Wissens - wohlgernekt hat beides sein eigenes Recht – austragen können.

Unser verehrter Alterspräsident hat wiederholt an die Geschichte der Akademien erinnert. Um dies noch einmal aufzunehmen: Die ersten Impulse des neuzeitlichen Wissenschaftsverständnisses kamen nicht aus den und an den Universitäten zum Tragen, sondern aus der freien Initiative Einzelner und in ihren freien Vereinigungen. Nebenher sei bemerkt: Kein nennenswerter Philosoph vor Kant war Universitätslehrer.

Herr Olsen hat die Gesellschaft, noch einmal im Sinne ihrer Gründungsabsicht und des Modells einer Akademie, stets nachdrücklich auf die Notwendigkeit einer ansehnlichen geisteswissenschaftlichen Klasse verwiesen – ansehnlich zumindest in der Mannigfaltigkeit einander anregender Disziplinen. Sie bedarf keiner Rücksicht auf den heutigen Sinngebungsmarkt und auf die mit ihm zusammenhängende Zumutung, Technikfolgenbewältigung zu leisten. Solche Folgen sind einmal von den technischen Disziplinen selber zu bewältigen, sodann durch unser Rechtssystem. Die sogenannten Geisteswissenschaften könnten eher – mit einem allerdings schiefen Ausdruck – der Technikgrundbewältigung dienen, dies im Horizont unserer Geschichte, unserer Welt und unserer Sprache; sich auf den Grund der Technik in singulärer Bedeutung besinnen. Jedenfalls haben sie in einer Akademie nur dann einen Ort, wenn sie zur Gedeihenheit ihrer eigenen Aufgaben finden. Was dabei die Philosophie anlangt, tut sie gut daran, sich von den allenthalben gewünschten Diskussionen um eine neue Ethik, insbesondere der Wissenschaften und Techniken, fernzuhalten – Diskussionen, welche einem technischen Denken außerhalb der Techniken selbst zu seinen Sonn- und Feiertagen verhelfen.

Die wissenschaftlichen Gesellschaften der Neuzeit förderten eine Forscherpersönlichkeit, deren Prinzip die Selbstbestimmung als Subjekt, will sagen: als Unterworfener war. Zuerst im Verhältnis zum Gegenstand, sodann und ursprünglicher im Verhältnis zu sich selbst. Wir sehen zum einen den seiner selbst entworfenen Methode sich unterwerfenden Verstand, zum anderen die ihrem eigenen Gesetz sich unterwerfende sittliche Vernunft. Das Eigene von Methode und Gesetz konnte nie das Private sein, sondern war stets das Öffentliche, war etwas, das für alle gelten mußte. Gegenstandsbewußtsein und Selbstbewußtsein waren die beiden Seiten, in denen sich die Vernunft und so auch die Persönlichkeit bildete. Eben dieser Tradition ist unser verehrter Kollege verbunden. Um deutlicher zu werden: er mußte auch in der Wissenschaft ebenso extensiv wie intensiv bestimmt sein – extensiv mit dem Gehör für alles, was die Forschenden unserer Gesellschaft bewegt, intensiv mit der Achtung für die selbstgesetzten Aufgaben des Einzelnen. Herrn Olsens Pflichtbewußtsein im Präsidentenamt hat sich mit einer Urteilskraft verbunden, die ihm in einem langen und geprüften Leben zugewachsen ist. Er beweist: Nur in der besagten Persönlichkeit kann Autorität gründen. Und nur sie erweckt die nötige Anerkennung unter Kollegen.

In der Arbeit an sich selbst, welche unsere Klassik „Bildung“ nannte, hat Herr Olsen ein Alter erreicht, das der unmittelbare Anlaß zur heutigen Würdigung ist. Seine

Verdienste für die Gesellschaft sind ganz und gar eine Frucht des Alters. Für uns umso bedeutsamer, als die meisten Mitglieder im letzten Drittel ihres Lebens stehen. Zeichnet sich hier – wegen der Verbindung von Alter und Tod – ein eher peinliches Thema ab, das man lieber unter den gehörigen Glückwünschen verborgen hält? Das hieße, von Herrn Olsen gering denken. Er hat immer wieder die Stärke bewiesen, das Alter nicht nur als eine natürliche Gegebenheit hinzunehmen, zu ertragen, sondern aus ihm auch die Gunst der Gelassenheit und die ihr eigentümliche Heiterkeit zu ziehen.

Schon Solon spricht in seinem Lebensalter-Gedicht ganz unbefangen vom Reifsein für den Tod. In seinen späten Jahren wird ein Mann kindisch, wenn er diesen Gedanken verdrängt. Kindisch ist nämlich der Mangel an Urteilkraft gegenüber diesem für unser Leben elementaren Sachverhalt. Kindisch ist genauer das Unvermögen, den Tod mit Unterschied zu denken. Aber dachte der weise Spinoza hier nicht ganz anders? Er schreibt in seiner Ethik „Der freie Mensch – will sagen: wer allein aus dem Zuspruch der Vernunft lebt – denkt an keine Sache weniger als an den Tod; und seine Weisheit ist Besinnung, nicht auf den Tod, sondern auf das Leben“ (II, 261, 2). In der zugehörigen Demonstratio folgt die Begründung: Er läßt sich nicht von Todesfurcht, also einem Affekt führen, von der Furcht vor etwas, das trotz seiner Unausweichlichkeit nur eine *experientia vaga* sein kann (X, 24). Welcher Tod ist also nicht zu bedenken? Zuvor: an welches Leben denkt Spinoza? An eben jenes, welches dem Einzelnen als Modus der einen göttlichen Substanz, nämlich des Naturganzen, eigen ist. Von diesem Begriff des je eigenen Lebens ist die Vorstellung unseres je eigenen Todes, die Einbildung seiner Umstände und Empfindungen zu unterscheiden und auszuschließen.

So das Bewußtsein. Statt solche Vorstellung auszuschließen, ist das Selbstbewußtsein – wie Hegel zeigt (Ph.d.G. 198) – in der Lage, sie aufzuheben. Es nimmt die Angst um sein ganzes Wesen an, lebt in der Furcht des Todes als des absoluten Herrn. Aber es arbeitet seine Natürlichkeit hinweg, und zwar in der Arbeit an äußeren Gegenständen; das Ich gibt ihnen die eigene Form. In solchem Gestalten seiner Welt kommt es zu sich selbst.

Produzierend setzt es sich „in das Element des Bleibens“. So dachte die alte Vernunft; sie ist nicht mehr diejenige der Moderne, welche unsere Welt ist. So dachte die Vernunft-Persönlichkeit auch und erst recht in ihren Wissenschaften.

Und zu welcher Unterscheidung des Todes hat die Besinnung unserer Welt gefunden? Zu welcher eigentümlich menschenmöglichen Sterblichkeit? Sie ist wohl gedacht worden, aber nicht zur Welt gekommen.

Wenden wir uns von diesem Rätsel zurück an unsere Geschichte; an ein frühes Wort zum Alter – in einem platonischen Mythos (Timaios 22 A4). Der schon erwähnte Solon ging, nachdem er sein politisches Werk in Athen vollbracht hatte, auf Reisen und kam auch nach Ägypten. Alt und stolz auf seine heroische Abstammung vermochte er jedoch einen ägyptischen Priester mit seiner Genealogie nicht zu beeindrucken. Ihre Spanne war winzig im Vergleich mit der Linie der Pharaonen. Solon mußte sich sagen lassen: „Ihr Griechen seid immer Kinder; einen gealterten Griechen gibt es nicht“. –

Frage: „Wie verstehst du das?“ Antwort: „Jung seid ihr alle euren Seelen nach. Denn: in ihnen habt ihr keine alte, von altersher gehörte δόξα, kein altes μάθημα, das mit der Zeit ergraut wäre.“ Und der Priester erklärt dies aus menschenvertilgenden Katastrophen; sei es durch die Sonnenfahrt des Phaeton, sei es durch die Sintflut des Deukalion, von denen Ägypten verschont blieb.

Entscheidend ist für Platon die Freiheit gegenüber den Ansichten auch der Angesehensten (δοκιμώτατοι). Unsere Geschichte ist reich an verjüngenden Katastrophen der Seele. Diejenigen, welche sich auch noch in der Moderne eine Seele gewinnen konnten – die Seele, mit der alles Lebendige geboren wird und die mit ihm stirbt, kennt nicht jenes verjüngende Zurücktreten vor den Ansichten – begrüßen deren Krise, auch im Selbstverständnis der Wissenschaften. Möge unser verehrter Alterspräsident helfen, sie auch in unserer Wissenschaftlichen Gesellschaft auszutragen, und eben darin jung wie ein Grieche zu bleiben. Dieses schönste Alter sei Ihnen, lieber Herr Olsen, und uns gegönnt.



## **Entwicklung und Spezialisierung der wichtigsten städtischen Zentren in der BR Deutschland**

Von **Georg Kluczka**

Gegenstand meiner Ausführungen sind die großen Städte in unserem Lande. Sie stehen im Mittelpunkt der vielfältigen und tiefgreifenden Veränderungen, denen Gesellschaft und räumliche Ordnung derzeit unterliegen. Wir erleben einen Wandlungsprozeß größeren Ausmaßes, der häufig mit dem Prädikat „postindustriell“ versehen wird; ein Prozeß mit ökonomischen, ökologischen und sozialen Komponenten; ein Prozeß, dessen Auswirkungen auf Stadtgestalt und städtische Strukturen sich deutlich abzuzeichnen beginnen.

Gleichwohl möchte ich hier nicht die wiederholt gestellte und so unterschiedlich beantwortete Frage nach der Zukunft der Stadt diskutieren. Mein Anliegen in diesem Zusammenhang ist es, zu untersuchen, welche Rolle die führenden städtischen Zentren im deutschen Siedlungsgefüge spielen.

Vergleicht man das Städtesystem der BR Deutschland mit dem anderer europäischer Staaten, läßt bereits ein Blick auf die Landkarte Besonderheiten erkennen. So fehlt die übergeordnete, dominierende Metropole, dagegen finden wir in relativ ausgewogener regionaler Streuung eine beträchtliche Anzahl großer Städte vor.

Nehmen wir die Bevölkerungsstatistik zu Hilfe, so wird deutlich, daß sich hinsichtlich ihrer Einwohnerzahl eine Gruppe von zwölf Städten von den übrigen absetzt.

Es handelt sich – unter Einbezug von West-Berlin – um die beiden weiteren Millionenstädte Hamburg und München, die Fast-Millionen-Stadt Köln und neun zwischen einer halben Million und gut 600.000 Einwohner zählende Städte: Frankfurt am Main, Düsseldorf, Stuttgart, Bremen, Hannover und Nürnberg sowie die Ruhrgebietsstädte Essen, Dortmund und Duisburg.

Einschließlich ihrer Umlandgemeinden ergeben sich – unter Ausklammerung der komplizierten Verhältnisse im Ruhrgebiet – fünf Großstadregionen mit über 2 Millionen Einwohnern: Hierzu gehören Hamburg, Köln, Frankfurt, Stuttgart und München. Etwa 1 Million Einwohner weisen die kleineren monozentrischen Großstadregionen Bremen, Hannover und Nürnberg auf. Dazwischen einzuordnen ist mit ca. 1½ Millionen Einwohnern die Großstadregion Düsseldorf. Und beziehen wir wiederum West-Berlin ein, so zeigt sich, daß auch die isolierte Teilstadt ohne Umland immer noch mit den größten Großstadregionen zu vergleichen ist.

Der Amerikaner Mark Jefferson stellte vor 50 Jahren die These auf, daß die Bedeutung einer Stadt mit ihrer Einwohnerzahl unmittelbar korreliert. Dies, meine ich, wäre zu einfach angesichts der Relativität kommunaler Grenzen im Großstadtraum; und wer wollte ein direktes positives Verhältnis von Quantität und Qualität für wahr halten.



Andererseits können wir feststellen, daß es sich bei den soeben aufgezählten Städten fast durchweg um exponierte Regionalzentren mit bundesweiter Bedeutung handelt. Denken wir an nationale Aufgaben, fehlt nahezu nur Bonn.

Sind wir also über den groben quantitativen Indikator der Einwohnerzahl bereits zu den wichtigsten städtischen Zentren vorgedrungen?

Verweilen wir noch einen Moment bei der These Jeffersons, zumal sie aus Reflexionen über den Zusammenhang von Städtewachstum und Hauptstadtfunktionen abgeleitet ist, und verknüpfen sie mit einer in Lehrbüchern stets wiederkehrenden weiteren These, die besagt, daß Städtesystemen – im langjährigen Vergleich – eine bemerkenswerte Persistenz eigen sei. Dies zu prüfen, erfordert einen historischen Rückgriff.

Der Blick in die Geschichte ergibt in der Tat eine mehrhundertjährige herausgehobene Entwicklung aller über das Kriterium der großen Einwohnerzahl ausgewählten Städte. Zwar haben sich die Gewichte bisweilen verschoben, doch insgesamt gesehen handelt es sich um ein stabiles System.

Betrachten wir die topographische Lage als stadtprägender Faktor, so ist Bremen und Hamburg die Seehafenfunktion und Vermittlerrolle zum Hinterland sozusagen in die Wiege gelegt worden. Hierauf aufbauend konnten sich – nach der Blüte Lübecks – beide zu starken Handels- und Verkehrsstädten entwickeln, erweitert durch eine importorientierte Industriestruktur. Ihrer ungebrochen führenden Stellung im Norden verdanken sie jeweils den Status eines Bundeslandes.

Bei Hannover, Düsseldorf, Stuttgart und München wirkt mit unterschiedlichem Gewicht die Funktion ehemaliger Territorialhauptstädte fort, wobei die Wahl Münchens zur Residenzstadt die nachhaltigsten Verschiebungen im Städtesystem bewirkte. Nürnberg – neben der Freien Bürgerstadt Köln die bedeutendste deutsche Stadt des Mittelalters und der frühen Neuzeit – und besonders Augsburg verloren ihre bis dahin führende Stellung im Süden, doch konnte sich Nürnberg aufgrund seines starken Industriewachstums behaupten.

Die Verknüpfung von Fern- und Nahhandelsbeziehungen am nördlichen Rand der Mittelgebirgsschwelle legte im Mittelalter das Grundgerüst für die nachhaltig positive Stadtentwicklung von Köln und Braunschweig, später auch Hannover, wobei die Stadt Heinrichs des Löwen erst im Eisenbahn- und Industriezeitalter von Hannover überflügelt wurde.

Die relativ junge Entwicklung Berlins trägt verwandte Züge mit derjenigen Münchens. Machtbestrebungen und herrschaftliche Förderung z. B. des Handwerks, der Bildung und der Künste trugen wesentlich zu ihrem Aufstieg bei.

Die besondere Bedeutung Frankfurts schließlich gründet in seiner bereits im Mittelalter gefestigten Stellung als unabhängiger Handelsplatz im Schnittpunkt wichtiger europäischer Fernhandelsstraßen. Als ein Beleg für die frühe überragende Marktfunktion Frankfurts sei die Einrichtung der Kaiserlichen Münze angeführt, die Frankfurt den Weg zum erstangigen Bankenplatz wies.

Als Zusammenfassung des historischen Exkurs läßt sich festhalten, daß die großen deutschen Städte die Persistenz ihrer Bedeutung im wesentlichen zwei Wurzeln verdanken: früher Bedeutung als Handelsstadt und Kontinuität als Regierungssitz. Die Indu-

strialisierung hat hier eher modifizierend gewirkt und zur Stabilisierung bereits führender Städte beigetragen.

Die tendenziell geringere Bedeutung der großen Städte als Standorte industrieller Produktion wird bestätigt, wenn wir versuchen, uns einen Überblick anhand der aktuellen Beschäftigtenstruktur zu verschaffen.

Da die Daten der Arbeitsstättenzählung von 1987 noch nicht vorliegen, soll ersatzweise die Statistik der sozialversicherungspflichtig beschäftigten Arbeitnehmer herangezogen werden.

Sie ermöglicht eine grobe Zuordnung nach Wirtschaftsbranchen. Vier Haupttypen kann man unterscheiden:

- Industriestädte (WA 2,3)
- Verwaltungsstädte (WA 7–9)
- Städte von Handel und Verkehr (WA 4,5)
- Städte des Finanz- und Versicherungswesens (WA 6)

Hierzu sollte vorab bemerkt werden, daß der Anteil des tertiären Sektors mit steigender Einwohnerzahl generell zunimmt und unsere großen Vergleichsstädte damit unter den Industriestädten eher hintere Ränge einnehmen. Die Auswertung der Beschäftigtenstatistik unter Einbezug der 150 einwohnerreichsten Städte im Bundesgebiet ergibt, daß sich die großen Städte fast durchweg auf den vorderen Plätzen der Wirtschaftsabteilungen des tertiären Sektors wiederfinden, dagegen auf den hinteren Rängen der beiden Wirtschaftsabteilungen von Industrie und produzierendem Gewerbe.

Die ausgeprägtesten Industriestädte der Bundesrepublik sind mit jeweils 80% und mehr ihrer Beschäftigten im produzierenden Sektor Sindelfingen, Rüsselsheim und Wolfsburg, Städte kaum mittlerer Größe, die von Großbetrieben der Elektronik-Industrie bzw. des Fahrzeugbaus bestimmt werden.

Von den Metropolen im Bundesgebiet nähern sich mit etwa 40% der Beschäftigten nur Nürnberg und Stuttgart dem Industriestadttypus. Sie nehmen die Ränge 79 bzw. 86 unter den 150 größten Städten ein. Ich sollte ergänzen, daß die begrenzte Aussagekraft dieser Daten natürlich nichts über die jeweiligen strukturellen Verhältnisse aussagt.

Für eine genauere Einordnung, die hier nicht angestrebt wird, wären Werte aus der Industrieberichterstattung geeignet, die z. B. über den Arbeiteranteil auf den Umfang der eigentlichen Produktion schließen lassen oder mit Hilfe der Exportquote Hinweise auf den Stand der Technologie geben, also Informationen vermitteln, aus denen qualitative Unterschiede deutlich werden.

Unter den **Verwaltungsstädten** nimmt die Bundeshauptstadt Bonn den ersten Platz ein. 57% ihrer Beschäftigten sind im Öffentlichen Dienst oder anderen gemeinnützigen Einrichtungen tätig. Es folgen mit deutlichem Abstand kleinere Universitätsstädte wie Marburg, Tübingen und Heidelberg. In der Spitzengruppe der Verwaltungsstädte finden wir dann bald West-Berlin, das nach Bonn den stärksten Besatz mit Bundesbediensteten aufweist. Aber auch München, Hannover, Düsseldorf – die Landeshauptstädte großer Flächenstaaten – nehmen in der Gruppe der Verwaltungsstädte vordere

Ränge ein. Am Ende der Skala der großen Städte stehen hier Bremen und Nürnberg (26%, 23%). Sindelfingen, die führende Industriestadt, hat von allen 150 untersuchten Städten den am geringsten entwickelten Verwaltungssektor und belegt hier mit knapp 8% seiner Beschäftigten den letzten Platz.

Ähnlich exponiert wie Bonn und mit Abstand auch Berlin unter den Verwaltungsstädten nehmen Hamburg und Bremen Sonderstellungen als **Handels- und Verkehrsstädte** ein. 32% bzw. 31% aller Beschäftigten in den beiden Hansestädten arbeiten in diesem vom Überseehandel getragenen Bereich. Auch Frankfurt muß hier wegen seines Schwerpunkts im Verkehrswesen mit allein 12% der Beschäftigten angeführt werden. Und schließlich ragt Nürnberg unter den Handels- und Verkehrsstädten besonders heraus. Bis auf Stuttgart, Berlin und Bonn finden sich alle großen deutschen Städte im oberen Drittel dieser Städtegruppe, ein Indiz für ihre ausgesprochen überregionale zentralörtliche Bedeutung.

Dagegen hat die Industriestadt Rüsselsheim – vergleichbar der Position von Sindelfingen im Verwaltungsbereich – mit weniger als 7% der Beschäftigten den am schwächsten entwickelten Handelssektor aller 150 berücksichtigten Städte.

Als hochspezialisierte Stadt des **Finanz- und Versicherungswesens** weist die Statistik Frankfurt aus. Allein in dieser Branche sind in der Mainmetropole fast 11% aller Beschäftigten tätig. Doch auch Köln und Düsseldorf finden sich auf den vorderen Rängen, gefolgt von München, Stuttgart, Hamburg und Hannover. Damit weist die Mehrzahl der großen Städte einen vergleichsweise hohen Beschäftigtenbesatz im Finanz- und Versicherungswesen auf. Nur Nürnberg, Bremen, Bonn und zuletzt Berlin liegen mit Beschäftigtenanteilen zwischen 5% und 3% deutlich zurück. Klarer Spitzenreiter im Finanz- und Versicherungswesen ist übrigens noch vor Frankfurt mit mehr als 15% aller Beschäftigten die Weserstadt Hameln. Sie ist Standort der Hauptverwaltung des BHW.

Wir können – diesen Teil meiner Ausführungen abschließend – zunächst festhalten, daß der Versuch, die großen deutschen Städte nach der Beschäftigung in vorherrschenden Wirtschaftsbranchen zu typisieren, insgesamt weniger bedeutsame Unterschiede der großen Städte untereinander als zu den übrigen Städten erbracht hat. Gleichwohl zeigt die Analyse der Beschäftigtenstatistik deutlich erkennbare Funktionsspezialisierungen der wichtigsten deutschen Städte.

Klare sektorale Dominanz – und diesbezüglich als Verwaltungsstädte zu bezeichnen – erwies sich für Bonn und Berlin. Beide Städte zeigen dagegen Defizite durch einen vergleichsweise geringen Besatz im Bereich kommerzieller Dienstleistungen. Die Erklärung hierfür könnte sich im Falle Bonns in der ungleichen Konkurrenzsituation und räumlichen Nähe zu Köln finden lassen. Berlin aber fehlt gerade in Bezug auf die volle Ausbildung seiner Handels- und Verkehrsfunktion schlichtweg das Hinterland.

Hamburg und Bremen dagegen dürfen aufgrund ihrer besonderen strukturellen Rahmenbedingungen vorrangig als Handels- und Verkehrsstädte anzusprechen sein mit einem Defizit an Verwaltungsaufgaben für Bremen und relativ geringer Ausprägung Hamburgs als Industriestadt.

Frankfurts Spezialisierung läßt sich am besten in der Typisierung als Finanz- und Verkehrsstadt ausdrücken.

Somit haben wir zum einen klare Akzentsetzungen unter den großen deutschen Städten gefunden, aber insgesamt doch die breite Basis gut entwickelter Teilbereiche im Gesamtspektrum des Tertiären Sektors.

Braunschweig ist im Rahmen der vorgenommenen Typologie als Verwaltungsstadt zu bezeichnen, mit gewisser Zurückhaltung aber auch der Gruppe der Handels- und Verkehrsstädte zuzuordnen. Überdies kommt in Braunschweig – vergleichbar Nürnberg und Stuttgart – der industriellen Beschäftigung mit einem Anteil von etwa 40% eine überdurchschnittliche Bedeutung zu.

Nach den bisherigen Schritten, die großen deutschen Städte zu charakterisieren und nach ihrem wirtschaftlichen Schwerpunkt einzuordnen, soll im folgenden der Frage nachgegangen werden, ob sich die besondere Rolle, welche die wichtigsten städtischen Zentren spielen, anhand bestimmter Indikatoren aufzeigen und konkretisieren läßt.

Wir wollen dies im Rahmen der zur Verfügung stehenden Zeit am Beispiel der Standorte von Hauptverwaltungen der Wirtschaft versuchen.

In der einschlägigen Fachliteratur wird immer wieder auf die Bedeutung der Organisations- und Steuerungsfunktion in der Wirtschaft hingewiesen. Das oberste Management trifft Entscheidungen mit stark räumlich wirkenden Einflußfaktoren.

So wird aufzuzeigen sein, wie sich die großen Städte und teilweise ihre Umlandgemeinden in einem Polarisierungsprozeß zu Standorten der Hauptverwaltungen der Wirtschaft entwickelt haben. Bei zunehmender funktionaler Arbeitsteilung und Spezialisierung beeinflussen, ja gestalten sie mit ihrem dynamischen System der Vernetzung und Zentralisierung die räumliche Ordnung der Bundesrepublik.

Die Standortwahl der Zentrale erhielt im Zuge der Bildung von industriellen und Versicherungskonzernen, Großbanken und Großunternehmen des Handels eine ständig wachsende Bedeutung hinsichtlich ihrer Raumwirksamkeit. Als heute schon historisches Beispiel sei auf die Konzentration von Großbanken, Versicherungen und Industriekonzernen in der ehemaligen Reichshauptstadt verwiesen, die kumulative Wachstumsfaktoren aktivierten. Nach dem Kriege hat sich für das Gebiet der Bundesrepublik ein Standortsystem der Wirtschaft herausgebildet mit folgenden räumlichen Schwerpunkten:

Nehmen wir z. B. die 500 größten Industrieunternehmen, finden wir drei Viertel ihrer Hauptverwaltungen in den neun großen Städten bzw. Großstadtreionen Hamburg, Essen, Duisburg, Düsseldorf, Köln, Frankfurt, Rhein-Neckar, Stuttgart und München.

Schlüsseln wir die 500 größten Unternehmen nach Wachstumsbranchen auf, ergibt sich ein klares Übergewicht von Frankfurt, Stuttgart und München.

Gehen wir weiter zum Bankensektor, zeigt sich die Dominanz von Frankfurt in beinahe konkurrenzloser Position. Nehmen wir z. B. das Geschäftsvolumen zum Maßstab eines Vergleichs, so erbringen Düsseldorf und München als nächstwichtige deutsche Bankenzentren zusammen gerade die Hälfte des Frankfurter Geschäftsvolumens.

Die Hauptverwaltungen der Versicherungen konzentrieren sich in Köln und München, gefolgt von Hamburg. Nur bei ausländischen Versicherungsunternehmen dominiert wiederum Frankfurt.

Diese wenigen Informationen ermöglichen bereits jetzt eine Hierarchisierung in Bezug auf die großen Städte:

Nur Frankfurt, Düsseldorf, Köln und München sowie Hamburg und Stuttgart sind als Zentren von Hauptverwaltungen anzusprechen. Hannover, Bremen, Berlin, Bonn und Nürnberg nehmen eine klar untergeordnete Position ein.

Für die hier wichtigeren Städte gilt zusätzlich festzuhalten, daß eine weitere Spezialisierung oder Arbeitsteilung stattgefunden hat: Stuttgart ist ausschließlich Standort großer Industrieverwaltungen und Köln Metropole von Versicherungsverwaltungen. Nur Hamburg, Düsseldorf, Frankfurt und München weisen einen ausgewogenen Besatz mit Hauptverwaltungen verschiedener Branchen auf, Frankfurt mit besonderem Akzent als Finanzzentrum.

Anhand aktueller Analysen soll das vermittelte räumliche Bild noch präzisiert werden:

1986/87 entfielen 28 und damit deutlich mehr als die Hälfte der 50 größten deutschen Industrieunternehmen mit ihren Hauptverwaltungen auf die genannten großen Städte, davon 14% auf München, jeweils 11% auf Düsseldorf und Frankfurt und 6% auf Stuttgart.

Nehmen wir unter Einschluß der ausländischen Firmen das Gesamtpotential der 100 größten Unternehmen, erreicht Hamburg mit einem Auslandsanteil von über 50% den ersten Rang, gefolgt von Frankfurt und München, wobei München Standort keiner einzigen Hauptverwaltung eines ausländischen Industriekonzerns ist.

Gehen wir über zum Dienstleistungssektor, wird erwartungsgemäß die Bedeutung der großen Städte noch größer. Im Bereich des Handels ragen Hamburg, Köln und Frankfurt als Standortzentren hervor. Insgesamt konzentrieren sich 73% aller Hauptverwaltungen des Handels auf die wenigen großen Städte.

Die stärkste Konzentration weist, wie wir bereits wissen, der Bankensektor auf. Sämtliche Hauptverwaltungen befinden sich in unseren großen Städten. Gleichwohl besteht eine Polarisierung zwischen ihnen. Alle Großbanken befinden sich in Frankfurt. Nur München weist auch noch größere private Banken auf. Die restlichen Standorte der 10 großen Banken erklären sich aus ihrer Funktion als Landesbanken.

Mit 8 von 10 der größten Versicherungen dominieren die Standorte Hamburg, Köln und München.

Zählen wir zur Illustration alle Hauptverwaltungen zusammen – dies gleichwohl unter dem Vorbehalt der Interpretation – so ergibt sich mit mehr als 20 ein klares Übergewicht von Hamburg und unmittelbar gefolgt von Frankfurt. 15 Hauptverwaltungen sind in München. Köln, Düsseldorf und Stuttgart nehmen mit jeweils etwa zehn Hauptsitzen eine Mittelstellung ein.

Berlin, Bremen, Hannover, Bonn und Nürnberg fallen kaum ins Gewicht.

Auch eine Analyse der 500 größten Wirtschaftsunternehmen ergibt das gleiche räumliche Verteilungsbild ihrer Hauptverwaltungen.

Frankfurt und Hamburg sind die wichtigsten Standorte mit jeweils fast 40 Hauptverwaltungen, es folgen München und Düsseldorf und mit einigem Abstand Köln und Stuttgart. Hannover mit 15 Unternehmenssitzen steht noch deutlich vor Bremen und Nürnberg sowie Berlin.

Ich fasse meine Ausführungen zusammen:

1. Die Steuerungsfunktionen der Hauptverwaltungen der Wirtschaft konzentrieren sich auf Hamburg, Düsseldorf, Köln, Frankfurt und München.
2. Besondere Aufmerksamkeit gebührt Frankfurt wegen seiner zentralen Rolle im Finanzgeschehen.
3. München ist Sitz vieler großer inländischer Industriekonzerne.
4. Die starke Position Hamburgs wird etwas relativiert durch Hauptverwaltungen mit großen Umsätzen, aber wenigen Beschäftigten.
5. Düsseldorf und Köln ergänzen einander hinsichtlich ihrer funktionalen Spezialisierung.

Im Hinblick auf die künftige Entwicklung des anhaltenden Polarisierungsprozesses könnte eine Standortanalyse der Wachstumsbranchen verwertbare Aussagen bringen. Vielleicht lassen sich Trends daraus ableiten, daß wir Ballungen schnell wachsender Pharmazie- und Chemiefirmen am südlichen Teil der Rheinschiene vorfinden. Auch die Standorte der Elektronik-Industrie konzentrieren sich eher im Süden. Die Standorte der 7 schnell wachsenden Großunternehmen in japanischem Eigentum dagegen, falls ihnen ein Indikatorwert beizumessen ist, befinden sich in Hamburg, Düsseldorf und Köln.



## Schlußwort

Von **Prof. Dr. rer. techn. habil. Karl Heinrich Olsen**

Herr Präsident!

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Was **muß**, was **kann**, was **darf** der Jubilar anlässlich seines 80. Geburtstages vor diesem hochansehnlichen Auditorium noch äußern?

Nun, zunächst einmal **muß** er Dank sagen, vielfältigen Dank. An erster Stelle habe ich dabei Ihnen, Herr Präsident Oberbeck, und der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft für die mich ehrende öffentliche wissenschaftliche Plenarversammlung und für die von Ihnen ausgesprochenen Glückwünsche zu danken.

Zu danken habe ich desweiteren Herrn Regierungspräsidenten Niemann, der mir die Grüße des Landes und des Regierungsbezirks Braunschweig überbracht hat, Herrn Oberbürgermeister Glogowski für die Glückwünsche der Stadt Braunschweig, Herrn Präsidenten Prof. Dr. Schön für die Glückwünsche der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Herrn Präsidenten Prof. Dr. Kistenmacher für die der Akademie für Raumforschung und Landesplanung sowie schließlich dem Herrn Vizepräsidenten Prof. Dr. Oldekop als Gratulant unserer Braunschweiger Technischen Universität Carolo Wilhelmina.

Ganz besonders zu bedanken habe ich mich bei dem Vorsitzenden unserer Klasse für Geisteswissenschaften, der ich angehöre, Herrn Prof. Dr. Boeder, für seine tief-schürfende Laudatio, mit der er mich und mein Wirken besonders geehrt hat. Zu danken habe ich aber auch Herrn Prof. Dr. Kluczka, Berlin, der diese Veranstaltung durch einen wissenschaftlichen Vortrag bereichert hat.

Und gestatten Sie mir, daß ich die Gelegenheit nutze, um mich für eine Vielzahl von Gratulationen zu bedanken, die sich auf meinem Schreibtisch häufen, es wird Wochen dauern bis ich sie gebührend beantwortet haben werde.

Der 80. Geburtstag, als der doch wahrscheinlich letzte im Rahmen einer wissenschaftlichen Veranstaltung, sollte indessen auch Anlaß zu einem umfassenderen Dank sein. So habe ich zu danken für ein langes, auf weiten Strecken, trotz 6jähriger Fronteinsatzes auf drei Kriegsschauplätzen Europas, relativ beschwerdefreies, ereignisreiches, im besten Sinne erfülltes Leben, das mich in seinem Ablauf mit einer Vielzahl von wohlwollenden und hilfreichen Menschen und Institutionen zusammengeführt hat, von denen ich die Kameraden der Kriegszeit nicht vergessen will.

Dankbare Erinnerungen verbinden mich auch mit den Regionen Deutschlands, die mir Heimat waren oder geworden sind. Also einmal mit dem alten Ordensland im fernen **Westpreußen**, die ich mit dem Dichter dieses Landes, Hermann Löns, teile, wobei ich vor allem, der Hansestadt **Danzig** gedenke, in der ich zum jungen Manne herangereift bin. Verbunden fühle ich mich auch mit dem schönen Land vor den Bergen, dem



**Freistaat Bayern** und seiner Hauptstadt **München** sowie schließlich mit diesem Lande **Niedersachsen** und seiner Stadt **Braunschweig**, in der ich mittlerweile den größten Teil meines Lebens zugebracht habe.

Natürlich erinnere ich mich besonders dankbar der wissenschaftlichen Institutionen, in denen ich eine wissenschaftliche Laufbahn durchschreiten und mitwirken durfte, angefangen mit der **Technischen Hochschule Danzig**, an der ich ein Diplom erwerben und eine erste Assistentenstelle antreten konnte, sodann die **Technische Hochschule München**, an der ich zu Dr. rer. techn. promoviert wurde, mich habilitierte, eine ordentliche Assistentenstelle versah und schließlich eine Diätendozentur erhielt; und endlich unsere Technische Hochschule, nun **Technische Universität Carolo Wilhelmina** zu Braunschweig, an der ich fast 40 Semester lang als außerplanmäßiger Professor die Fächer Wirtschaftsgeographie sowie Raumordnung und Landesentwicklung in Vorlesungen und Übungen vertreten habe.

Desweiteren habe ich nebenamtlich an den Arbeiten der **Akademie für Raumforschung** – einer Einrichtung des Königsteiner Abkommens der Bundesländer – als ordentliches Mitglied der Akademie mitgewirkt, die ich dann in den Jahren 1959 – 1965 als deren Präsident leiten durfte. Und ebenfalls nebenamtlich habe ich als ordentliches Mitglied der **Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft** in dieser als Klassenvorsitzender, Generalsekretär und schließlich als Präsident mitgewirkt. Und nicht weniger dankbar denke ich an meine hauptamtliche Tätigkeit in der Forschungsanstalt, der heutigen **Bundesanstalt für Landwirtschaft** zurück, und dabei zunächst an das Institut für Betriebswirtschaft, in dem ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter und danach von 1962 bis zu meinem Ruhestand die Aufgaben als Generalsekretär dieser großen Anstalt versehen habe.

Ganz besonders zu danken habe ich vor allem meiner **Familie**, meiner Frau, meinen Kindern und Schwiegerkindern, die mich alles in allem mit sorgender Liebe über mehr als 50 Jahre hinweg begleitet und ertragen haben.

Der Jubilar kann sodann aus seinem Leben und Wirken berichten. In meinem Falle sind von den Herren Vorrednern hierzu aber bereits so viele Hinweise gegeben worden, so daß ich mich auf einige ergänzende Bemerkungen beschränken darf.

Meine Tätigkeit als Wissenschaftler ist präzise schwer zu beschreiben und exakt einzuordnen. Betätigt habe ich mich in den **Landbauwissenschaften**, in der **Wirtschaftsgeographie** und in der **Raumforschung**. Alle drei Bereiche gründen sich auf eine Vielzahl von Spezialwissenschaften, deren Ergebnisse von den genannten, umfassenden Disziplinen natürlich einzubeziehen sind. Das erfordert regelmäßig die Einarbeitung in zahlreiche Fachbereiche der unterschiedlichsten Art. So kann man mich allenfalls als **Generalisten** bezeichnen, von denen das amerikanische Scherzwort sagt, daß sie von viel etwas verstehen, von immer mehr immer weniger, bis sie schließlich von allem nichts verstehen. Da haben es die Spezialisten besser, die von wenig jeweils viel verstehen, von immer weniger mehr verstehen, bis die von nichts alles verstehen.

Es ist einleuchtend, daß die Generalisten kaum in die Nähe des Nobelpreises oder anderer, hochrangiger wissenschaftlicher Auszeichnungen gelangen. Dafür sind sie aber gefragt, wenn es sich um die Herbeiführung und die Organisation interdisziplinä-

rer wissenschaftlicher Projekte handelt, wie überhaupt der **wissenschaftsorganisatorische** und **wissenschaftspolitische** Bereiche ihre Domäne ist. Vielleicht habe ich eine Anlage hierzu ererbt, jedenfalls wurde ich bereits seit meinem Studium und später während meines ganzen Berufslebens immer schnell in entsprechende Stellungen gewählt oder berufen, so daß ich auf 14 Jahre Tätigkeit als Generalsekretär und auf 12 Jahre als Präsident wissenschaftlicher Institutionen, sowie auf zahlreiche Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Ausschüssen zurückblicken kann. Das beste an dieser wissenschaftlichen Tätigkeit war, daß ich mein Leben lang lernen durfte, lernen von hervorragenden Spezialisten und Kollegen.

Und schließlich darf der Jubilar – gewissermaßen als Vermächtnis an die Nachwelt – auch noch von Erfahrungen berichten, die er im Laufe seines dienstlichen und privaten Lebens gemacht haben will. Verlangt wird das kaum von ihm, und er sollte wissen, daß das allgemeine Interesse an Erfahrungen – besonders bei der jüngeren Generation – nicht eben groß ist, die meisten Menschen wollen ihre Erfahrungen selbst machen und sich nur bedingt nach fremden richten.

Über meine Erfahrungen werde ich deshalb nicht berichten. Ich teile zwar nicht uneingeschränkt die boshafte Bemerkung, daß, wenn jemand 40 Jahre lang alles falsch gemacht hat, er das Erfahrung nennt, ich bin aber der Meinung, daß der Wert von Erfahrungen erheblich relativiert werden muß.

In früheren Zeiten verlief, trotz teilweise sogar gewaltsamer Veränderungen, die Entwicklung in weiten Bereichen des Lebens über längere Zeitabschnitte hinweg noch ziemlich gleichförmig, so daß die Berücksichtigung von Erfahrungen immerhin hilfreich sein konnte.

Heute akzeleriert die Entwicklung in nahezu allen Lebensbereichen so heftig und dazu kaum voraussehbar, so daß sich Erfahrungen allgemeingültigerer Natur noch gar nicht haben bilden können oder überhaupt bilden lassen. An der Schwelle eines Neuen Jahres, gegen Ende des zweiten Jahrtausends unserer Zeitrechnung stehen wir vor einer ganzen Anzahl ernstzunehmender Probleme, die noch kaum exakt zu definieren, geschweige denn zu quantifizieren sind.

**Ozonloch, Treibhauseffekt, Waldsterben und Waldvernichtung, Luft-, Boden- und Gewässerverschmutzung** oder gar **-vergiftung, Abfallbeseitigung, Nutzung der Kernenergie, Bevölkerungsexplosion, Massenverelendung** in vielen Teilen der Welt, **soziale Spannungen** wachsender Brisanz, alles, zumindest in ihrer Größenordnung, relativ neue Probleme, für deren Lösung es keine oder keine hinreichenden Erfahrungen gibt. So bleibt uns an der Schwelle dieses Neuen Jahres 1989 kaum mehr als die Hoffnung, daß es der Menschheit gelingen möge, unsere gemeinsame Heimat – unsere Erde – bewohnbar zu erhalten bzw. wieder zu machen. Ich glaube dabei fest an den **Einfallsreichtum** und die **schöpferische Kraft des menschlichen Geistes**, die vieles bewirken können, wenn die politischen Verhältnisse dies fördern oder wenigstens zulassen. Und ich hoffe und wünsche, daß die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hierzu wird beitragen können, heute, wie in der nahen und fernen Zukunft.

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit.



## **Grablege und Bestattungsbrauch der deutschen Könige im Früh- und Hochmittelalter.**

Von **Joachim Ehlers**

Dieser Bericht\* soll ein Projekt vorstellen, das mit Unterstützung der DFG eine möglichst vollständige Betrachtung aller Aspekte des historischen Phänomens TOD UND GRABLEGE DER RÖMISCH-DEUTSCHEN KÖNIGE DES MITTELALTERS für die Zeit von 918 (Tod Konrads I.) bis 1254 (Tod Konrads IV. und Ende des staufischen Hauses) anstrebt.

Weil die Herrscherbestattung nicht nur ein liturgischer Akt war, sondern auch eine politische Handlung von eminenter, weittragender Bedeutung, führt ihr Studium ins Zentrum dessen, was man „politische Theologie“ genannt hat, d.h. jener engen Verbindung von Regierungspraxis, Herrschaftstheorie, Frömmigkeit und Tradition, die u.a. von Percy Ernst Schramm, Ernst Kantorowicz und Marc Bloch in das Bewußtsein der neuzeitlichen Geschichtswissenschaft gehoben worden ist. Im Bestattungsritus spiegelt sich die besondere politische Stellung des Königs, aber auch seine Gleichstellung mit allen anderen Christenmenschen; die Furcht des Sünders vor dem Gericht und das Verlangen nach Gebetshilfe ebenso wie der entschiedene Wille zur abschließenden Dokumentation fundamentaler politischer Lebensziele.

Bevor wir uns aber solchen Fragen zuwenden können, müssen wir unsere Quellengrundlage sichern. Eine möglichst lückenlose Erfassung und kritische Sichtung aller schriftlichen und monumentalen Zeugnisse ist als Basis für die wissenschaftlich brauchbare Analyse unumgänglich. Ein solches Repertorium muß folglich unsere erste Aufgabe sein.

Ich möchte im folgenden so vorgehen, daß ich Ihnen zunächst die wesentlichen Gliederungspunkte dieser Inventarisierung nenne und an ottonisch-salischen Beispielen kurz erläutere, durchaus in der Hoffnung auf kritische Anmerkungen, die noch zu Ergänzungen oder Änderungen führen können. Um generalisierend-unverbindliche Kommentare zu vermeiden und Ihre Geduld gleichwohl nicht über jedes Maß in Anspruch zu nehmen, werde ich im anderen Teil des Vortrages zwei Erscheinungsformen des mittelalterlichen Grablegebrauchs herausheben und etwas näher beschreiben: Die Liturgie und die Memoria.

\*

Zunächst also das Inventar. Aufgenommen werden die wichtigen Daten, Sachverhalte und Befunde zu Tod und Grablege der Könige (auch der sog. „Gegenkönige“),

\* Die Vortragsform wurde nicht verändert. Quellen- und Literaturhinweise finden sich, auf das Nötigste beschränkt, im Anschluß an den Text.

der Königinnen und der zu Lebzeiten des Vaters verstorbenen Kinder. Der familiäre Bezug ist mithin von vornherein heuristisches Kriterium und wird an geeigneter Stelle zusammenfassend dokumentiert. Für jeden Herrscher wird das Bearbeitungsschema gleichmäßig durchgeführt, so daß am Ende insgesamt 23 Königsmonographien vorliegen werden.

Ein erstes Kapitel befaßt sich mit dem Tod des Königs, nennt Todestag, Sterbeort, nach Möglichkeit Todesursache und Lebensalter. Die Umgebung des sterbenden Königs soll ebenso ermittelt werden wie ein etwa beobachtetes weltliches Zeremoniell, die Sterbeliturgie und Rechtshandlungen, deren Bedeutung für die Verfassung einer Wahlmonarchie auf der Hand liegt: Designationen, Verfügungen über Herrschaftszeichen oder Willensäußerungen anderer Art.

Das zweite Kapitel registriert die Vorbereitung der Beisetzung, fragt nach der Liturgie (davon später etwas genauer), vor allem aber nach der Zubereitung des Körpers für Beisetzung oder Überführung und nach dem Itinerar zum Beisetzungsort. Für Otto I., Otto III. und alle salischen Herrscher ist sicher bezeugt, daß die Eingeweide ausgehoben und vom Körper getrennt bestattet worden sind; unser Repertorium muß infolgedessen von diesem Punkt an die Nachrichten zur Körperbestattung parallel zu denen über die Intestbestattung ausweisen.

Weil nur Otto II. auch an dem Ort beigesetzt wurde, an dem er gestorben war (in Rom), ergaben sich mitunter sehr lange Wege für die Überführung. Damit einhergehende Probleme waren allgemein bekannt und wurden auf verschiedene Weise gelöst; so berichtet Wilhelm von Jumièges, daß König Sven I. am 2. Februar 1014 während eines Aufenthaltes in England starb. Die Dänen hätten seine Leiche mit Gewürzen präpariert, in ein Schiff gelegt und seien damit eilends nach Dänemark gefahren, um ihn dort zu begraben. Weniger pietätvoll mutet uns dagegen die Prozedur an, der die Leiche des am 4. Dezember 1137 im Tiroler Bergdorf Breitenwang verstorbenen Kaisers Lothar von Süpplingenburg ausgesetzt wurde, um den Transport zur Grablege im Benediktinerkloster Königslutter am Elm vorzubereiten: Wie eine soeben publizierte Analyse der in Knochenproben enthaltenen Aminosäuren durch die amerikanischen Chemiker Bada, Herrmann, Payan und Man ergab, hat man den Körper des Kaisers zwischen 5 und 6 Stunden lang gekocht, um Fleisch von Gebein zu trennen. Nur das Skelett wurde anschließend nach Sachsen gebracht.

Im Verlauf solcher Überführungen kam es in den meisten Fällen zu höchst aufschlußreichen Vorgängen. Die Leiche Ottos III. wurde vom Sterbeort Paterno über Verona nach Polling gebracht, wo Herzog Heinrich von Bayern (der spätere Heinrich II.) sich zum König wählen lassen wollte und deshalb – außer der Leiche des Kaisers – auch die Reichsinsignien in seine Gewalt brachte. Von Polling führte er den Zug nach Augsburg, und hier setzte man die Eingeweide des Kaisers im Afra-Kloster bei, für das Herzog Heinrich bei dieser Gelegenheit 100 Hufen aus seinem Allod für das Seelenheil Ottos III. stiftete. Über Neuburg an der Donau setzte der Leichenzug seine Reise fort. In Köln übernahm Erzbischof Heribert den Toten und ließ ihn in die Stiftskirche St. Severin bringen, am folgenden Tag nach St. Pantaleon, am Mittwoch nach St. Gereon und am Donnerstag in die Kathedrale. Dort hatten Büßer Zutritt und empfingen den

Ablaß, die ganze Gemeinde betete, und die Seele des Toten erhielt die Absolution. Am Freitag ging der Zug nach Aachen weiter.

Ganz ähnlich verfuhr man, als Konrad II. von Utrecht über Köln, Mainz, Worms nach Speyer gebracht wurde: An allen Orten, die der Zug berührte, wurde der Tote durch sämtliche Kirchen geführt, wobei sich das Volk betend anschloß und große Opfergaben für das Seelenheil des Königs brachte. Es wurde also eine breite Öffentlichkeit zusammengerufen, vor der sich der Nachfolger präsentieren konnte, denn Heinrich III. begleitete die Leiche seines Vaters und trug an jeder Kirchentür am Sarge mit.

Schwierig gestaltete sich der Kondukt des exkommuniziert gestorbenen Kaisers Heinrich IV., der zunächst im Dom St. Lambert zu Lüttich provisorisch beigesetzt werden mußte, weil Speyer von seinen Gegnern beherrscht war. Der Hof Heinrichs V. vertrat aber die Ansicht, daß man die Leiche wieder ausgraben und in ungeweihter Erde beisetzen müsse, bis die Aufhebung der Exkommunikation erreicht wäre. Daraufhin wurde Heinrich IV. exhumiert und auf dem Hügel Cornillon rechts der Maas vor der Stadt formlos beerdigt, neun Tage später aber auf Befehl Heinrichs V. nach Lüttich zurückgebracht, im Dom aufgebahrt und dem Volk gezeigt, das in archaischem Fruchtbarkeitsglauben Getreidekörner auf die Bahre legte in der Hoffnung, später durch Vermischung mit anderem Saatgut bessere Ernten zu erzielen. Wohl aus Furcht vor den Folgen einer solchen Massenbewegung ließ Heinrich V. den Toten schon am folgenden Tag abtransportieren und zehn Tage später im Dom zu Speyer aufbahnen. Bischof Gebhard von Speyer verlangte aber, daß er in eine noch ungeweihte Kapelle gebracht werde, und dort hat der Leichnam des Kaisers fünf Jahre auf seine endgültige Beisetzung im Dom an der Seite seines Vaters und Großvaters warten müssen.

Wir sind damit schon ins dritte Kapitel eingetreten, das sich mit der Beisetzung beschäftigt und außer Beisetzungstag und -ort, Teilnehmerkreis, Liturgie, weltlichen Handlungen die Grabbeigaben erfassen soll, soweit sie durch archäologische Untersuchungen oder schriftliche Zeugnisse bekannt sind. Bekleidung des Toten ist seit der alten Kirche Bestandteil der Sterbeliturgie; Ausstattung der Könige und ihrer Angehörigen *vestibus regalibus* bezeugen für die Merowingerzeit das Childerichgrab in Tournai, das Grab der Königin Arnegunde in St-Denis und für die Beisetzung des 584 ermordeten Königs Chilperich I. der Liber historiae Francorum. Dem Bericht Richers von Reims über die Beisetzung König Lothars von Frankreich im Jahre 986 können wir entnehmen, daß zum *funus regius* eine Bahre (*lectus*) gehörte, die mit königlichen Insignien (*regalibus insignibus*) geschmückt war. Ob es sich dabei um Originale, Repliken oder spezielle Grabinsignien gehandelt hat, geht aus dem Text leider nicht hervor. Der Tote wurde in ein Batistgewand (*veste bissina*) gekleidet und danach mit einem golddurchwirkten, edelsteinverzierten Purpurmantel zugedeckt, ein Brauch, dem wir bei den Saliern in Speyer wiederbegegnen:

Mäntel aus byzantinischen bzw. islamischem Seidengewebe enthielten die Gräber Konrads II. und Heinrichs IV.; **Leichenschleier** zur Bedeckung des Körpers fanden sich bei den Kaiserinnen Gisela und Berta sowie bei Heinrich III. 1

Konrad II. war ferner eine **Inscripttafel** beigegeben, auf der Todestag, Regierungszeit und Beisetzungstag vermerkt waren; **Teile der Bekleidung** haben sich ebenso erhal- 2 3

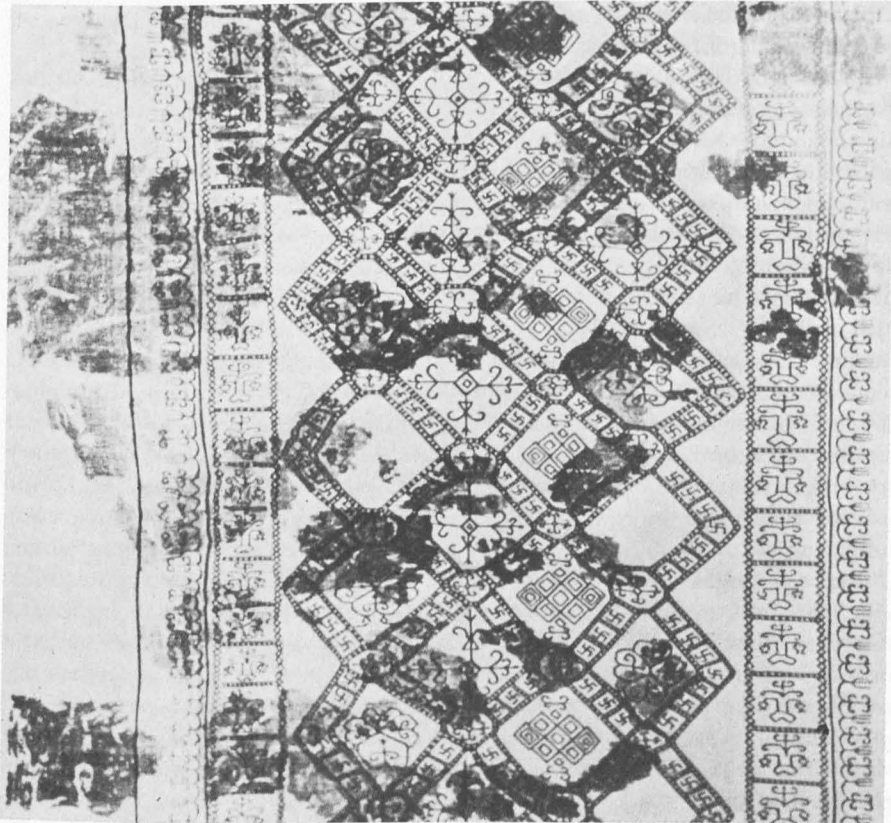


Abb. 1:  
*Leichenschleier Heinrichs III.*



Abb. 2:  
*Inscriptafel Konrads II.*

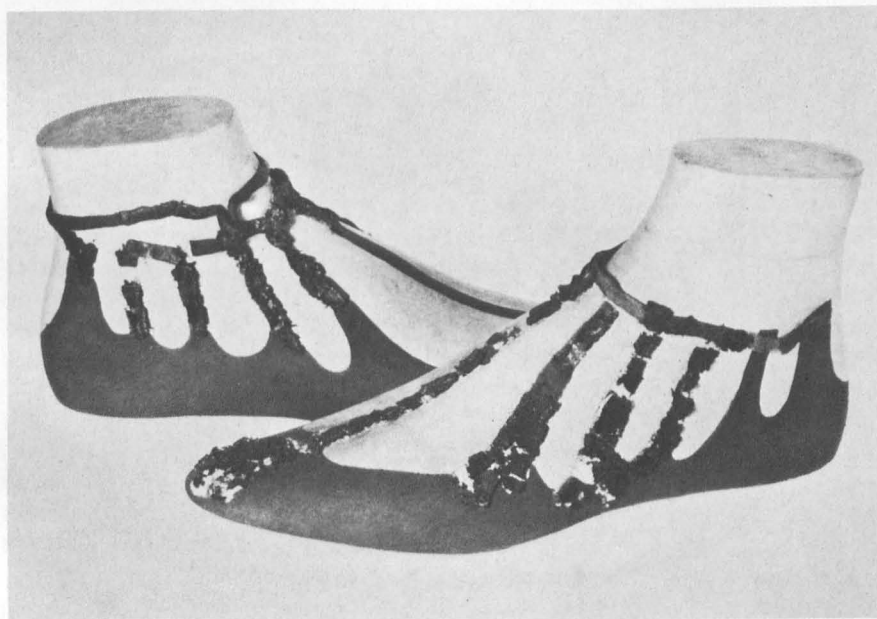
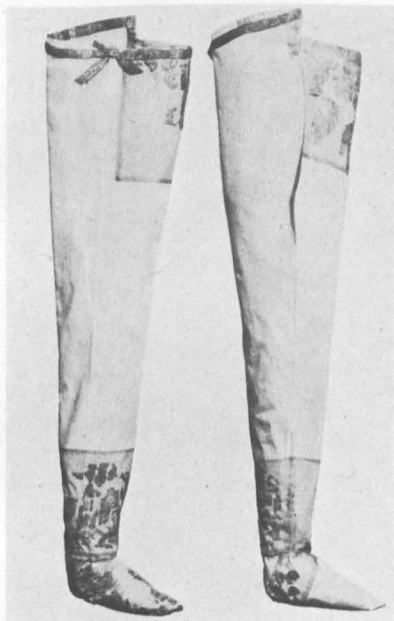
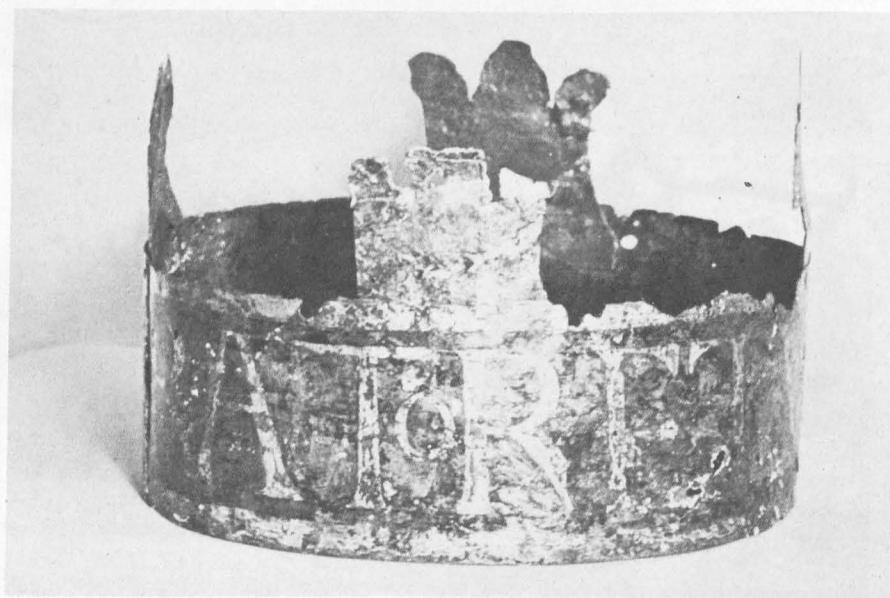
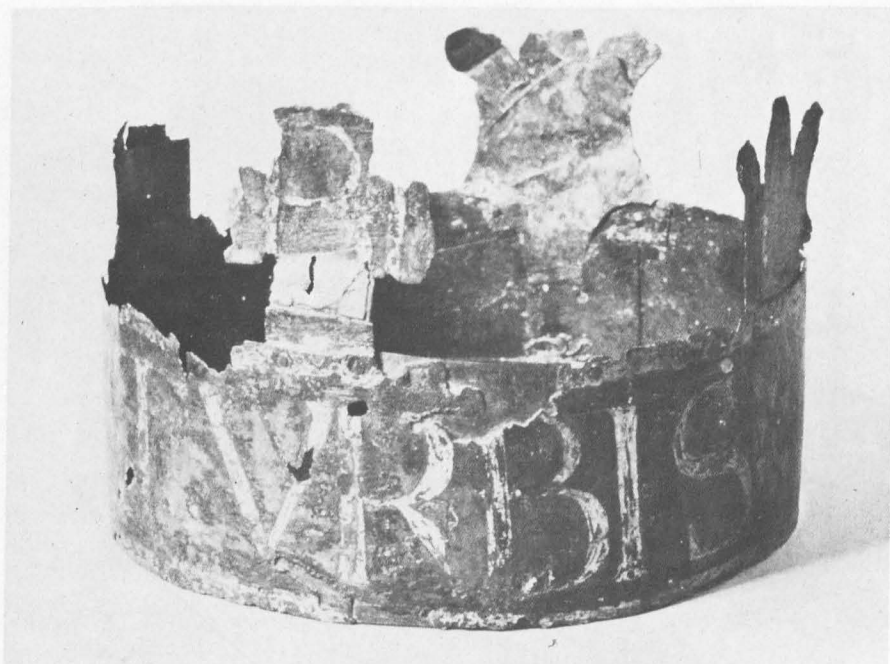


Abb. 3:  
*Reste der Bekleidung Konrads II.*





*Abb. 4:  
Grabkrone Konrads II.*

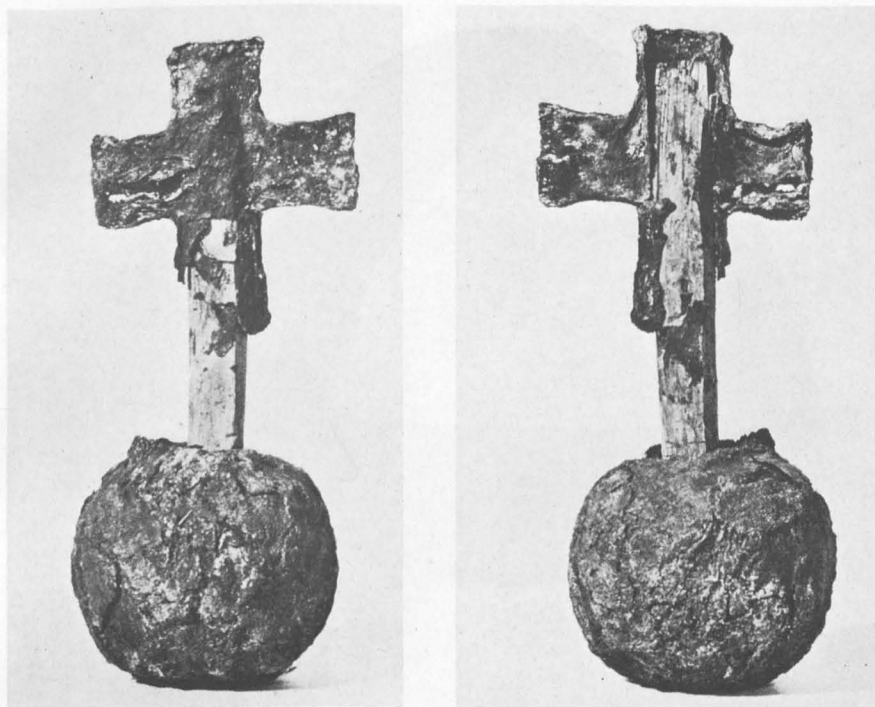


Abb. 5:  
*Reichsapfel Heinrichs III.*

ten wie die **Grabkrone**. Auch Konrads Gemahlin Gisela war mit Inschrifttafel und Grabkrone bestattet, während Heinrich III. außer der Grabkrone noch einen **Reichsapfel** aus Holz und Leder (also ein typisches Grabsigne) bei sich hatte. Grabkrone und **Kronhaube** wurden Heinrich IV. mitgegeben, außerdem ein **Brustkreuz**, ein **Kapselkreuz** als Reliquienbehälter und ein **Fingerring**; **Kreuz und Sporen** aus dem Grab Heinrichs V. sind ebenfalls erhalten.

Daß eine solche Ausstattung nicht etwa spezifisch salisch gewesen ist, beweist ein 1620 angelegtes Verzeichnis der (z.T. noch heute vorhandenen) Grabbeigaben Lothars von Süpplingenburg in Königslutter. Dort sind Schwert, Reichsapfel, Inschrifttafel, Kelch und Patene genannt; bei der im Zusammenhang mit Restaurierungsarbeiten 1976 bis 1978 vorgenommenen Untersuchung des Grabes fanden sich noch Zepter, zwei Fingerringe und Sporen.

Ebenso wichtig wie die Beisetzung selbst ist die Auswahl des Ortes, an dem sie stattfinden sollte, denn hier können wir die Frage stellen, ob der König (oder seine Umgebung) sich selbst in einer Amtskontinuität zu den Vorgängern gesehen hat oder ob eine dynastisch-familiäre Tradition überwog, ob (und aus welchem Grund) eine neue Tradi-



Abb. 6:  
*Kronhaube Heinrichs IV.*

tion begründet werden sollte und welche Voraussetzungen man dafür als gegeben angenommen hat. Das 4. Kapitel des Repertoriums stellt deshalb die überlieferten Kriterien zusammen, verzeichnet die Aufenthalte zu Lebzeiten, nimmt Verkehrslage und Siedlungsgeographie auf, um die Bedeutung als Zentralort zu ermitteln. Kataloge der Hoftage und Synoden können darüber ebenso Aufschluß geben wie eine kurze Skizze der Stadtentwicklung bis zur Zeit der Beisetzung; die Frage nach Reichs- und Hausgut in der Umgebung oder am Ort selbst lenkt dann auf den Bezug zur königlichen Familie. In ihm sehe ich nach dem bisherigen Kenntnisstand den zentralen Ansatzpunkt für die sozialgeschichtliche Analyse und möchte sogleich noch einmal darauf zurückkommen, vorher aber die entsprechenden Dispositionsgrundsätze des Repertoriums nennen.

Zum Familienbezug gehören primär alle Schenkungen, die dem Ort und den dort ansässigen geistlichen Institutionen vom König oder seinen Angehörigen gemacht wor-

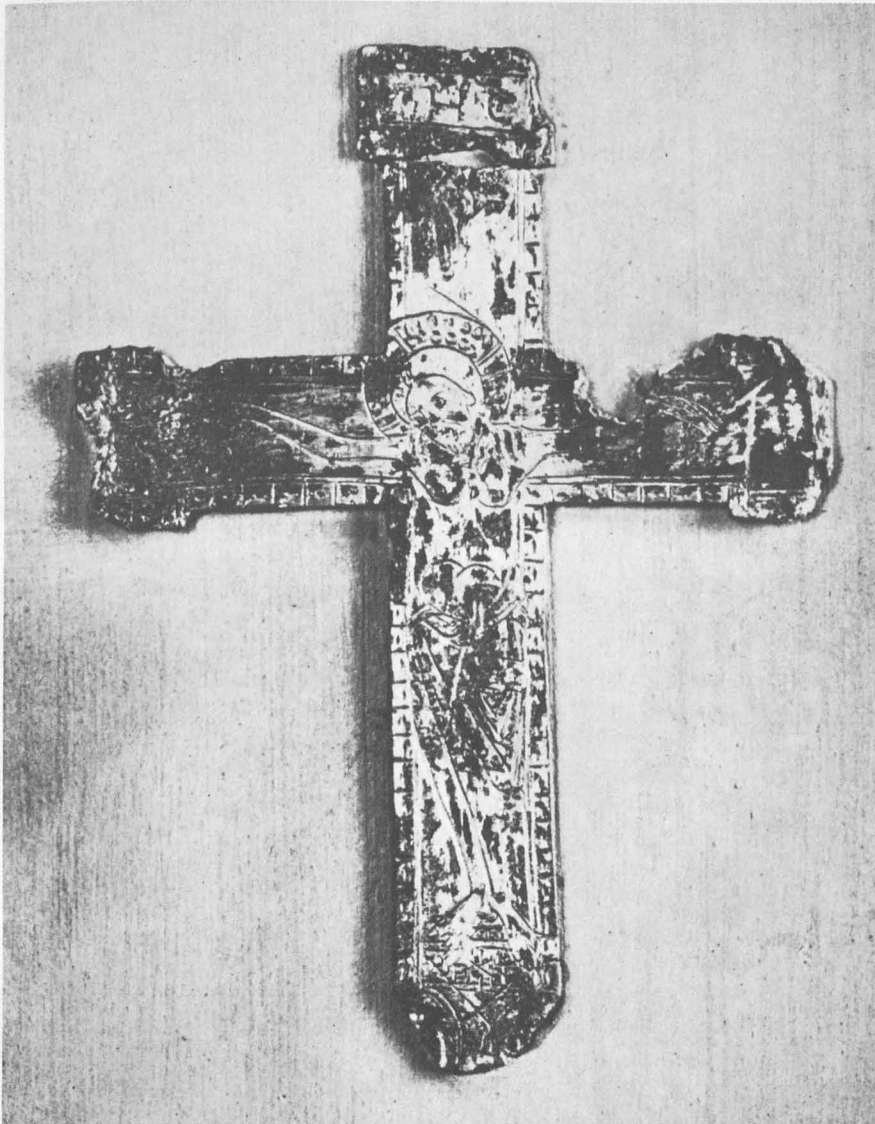


Abb. 7:  
*Brustkreuz Heinrichs IV.*

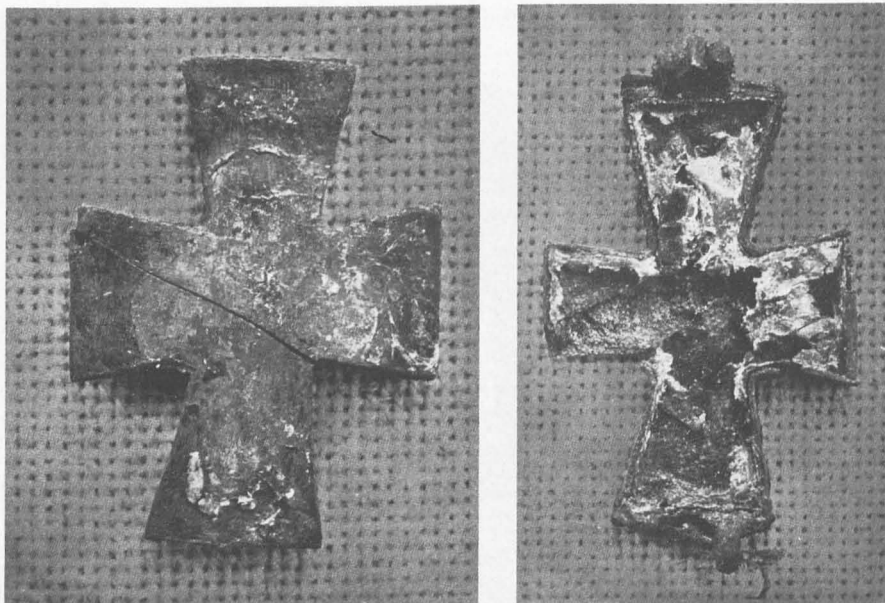


Abb. 8:  
Kapselkreuz Heinrichs IV.  
(links: geschlossen, rechts: geöffnet)

den sind, näherhin die Memorialstiftungen zugunsten der Familie oder des Beigesetzten allein. Um eine familiäre Grablegetradition zu erkennen oder (und das ist der übliche Fall) breitere Streuung der Beisetzungsorte nachzuweisen, wird für Gemahlinnen und Kinder jeweils ein besonderes Dossier vorgelegt, das über Todesdatum und Beisetzungsort Auskunft gibt, Funktion, Stifter und Patrozinien der Grabkirche anführt, Auswahlkriterien für den Beisetzungsort und die Memorialstiftungen zusammengestellt. Das Grabmonument soll nach dem gegenwärtigen Befund und der Lage im Kirchenraum möglichst genau dokumentiert werden.

Alle Einzelinformationen dieser Art werden dann zusammenfassend daraufhin untersucht, ob sich aus ihnen Motive für die Auswahl des königlichen Grablegeortes erschließen lassen. Hier kommt es darauf an, mehrere Schichten möglichst präzise voneinander abzuheben und Interdependenzen dort aufzuzeigen, wo jede monokausale Erklärung unweigerlich auf Abwege führt. In wie starkem Maße Regierungspraxis und Familienbewußtsein, individuelle Entscheidung und Reichstradition im Laufe der Zeit miteinander verwoben werden konnten, zeigt die Tatsache, daß der Straßburger Chronist Gottfried von Ensmingen um 1300 der Auffassung sein konnte, in Speyer befinde sich die Reichsgrablege („...in qua civitate Spirensi reges Romanorum ab antiquo consueverunt inhumari“), obwohl die Salier ganz andere Intentionen hatten. Als Maximilian I. am 9. Juni 1494 Speyer besuchte, trug der Domprediger Jakob Wimpfeling ein



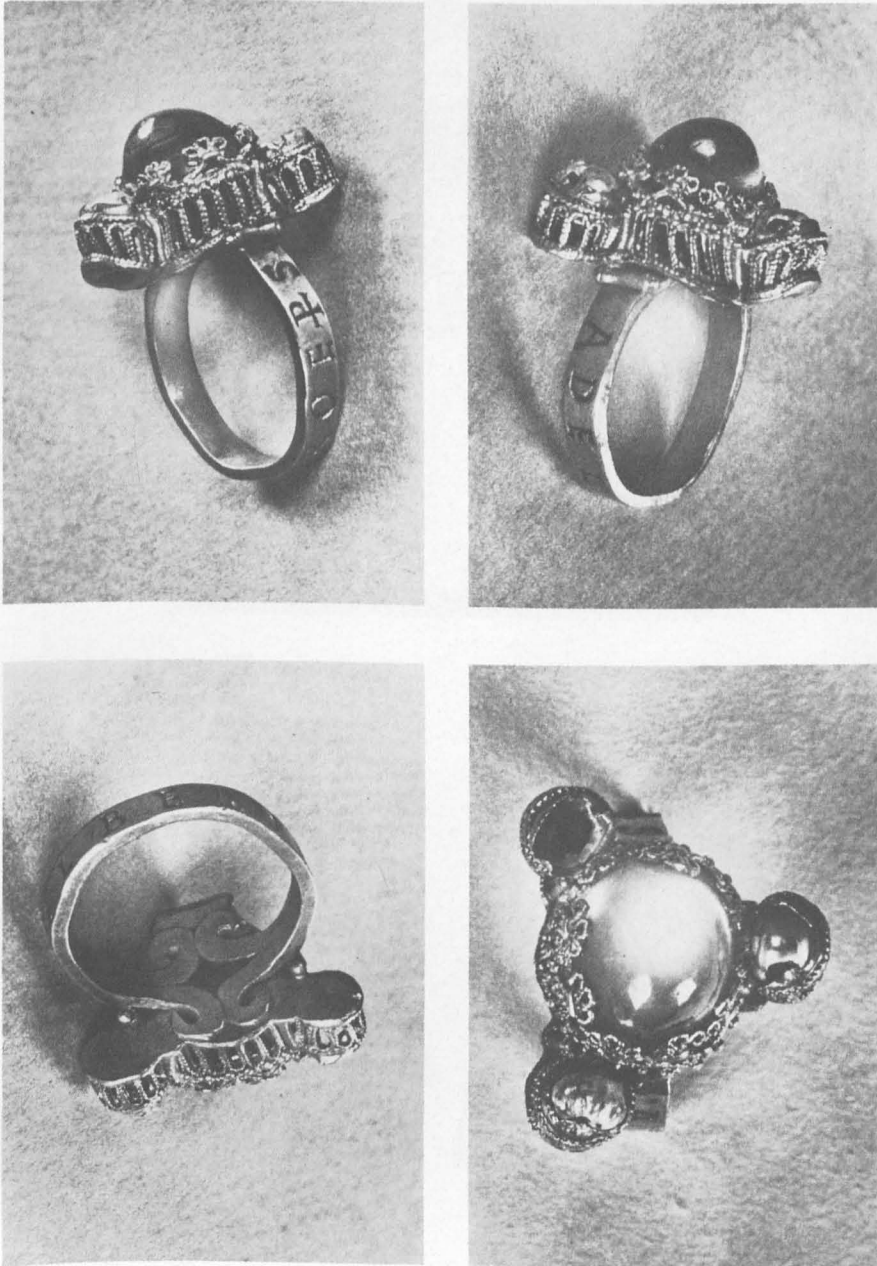
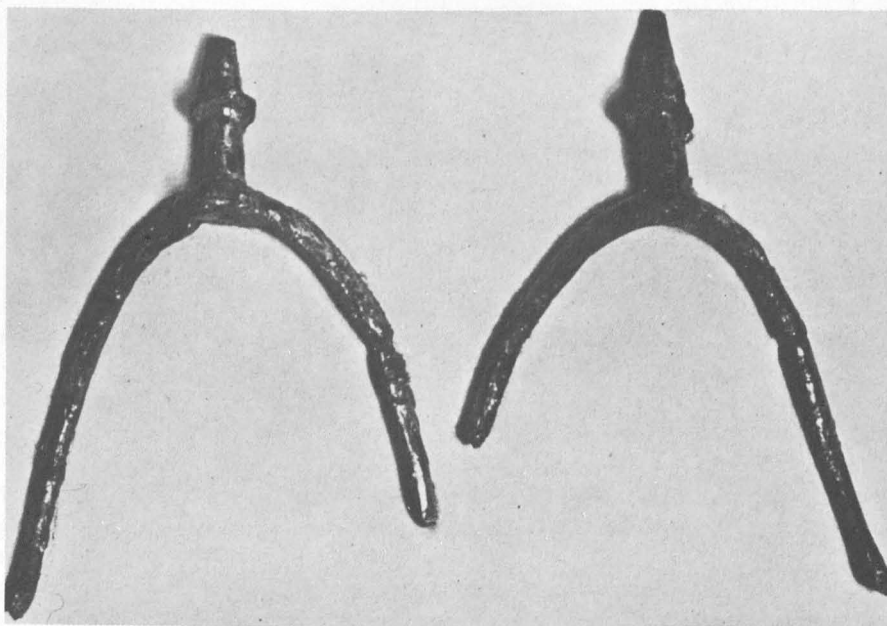


Abb. 9:  
*Fingerring Heinrichs IV.*



*Abb. 10:  
Kreuz und Sporen Heinrichs V.*

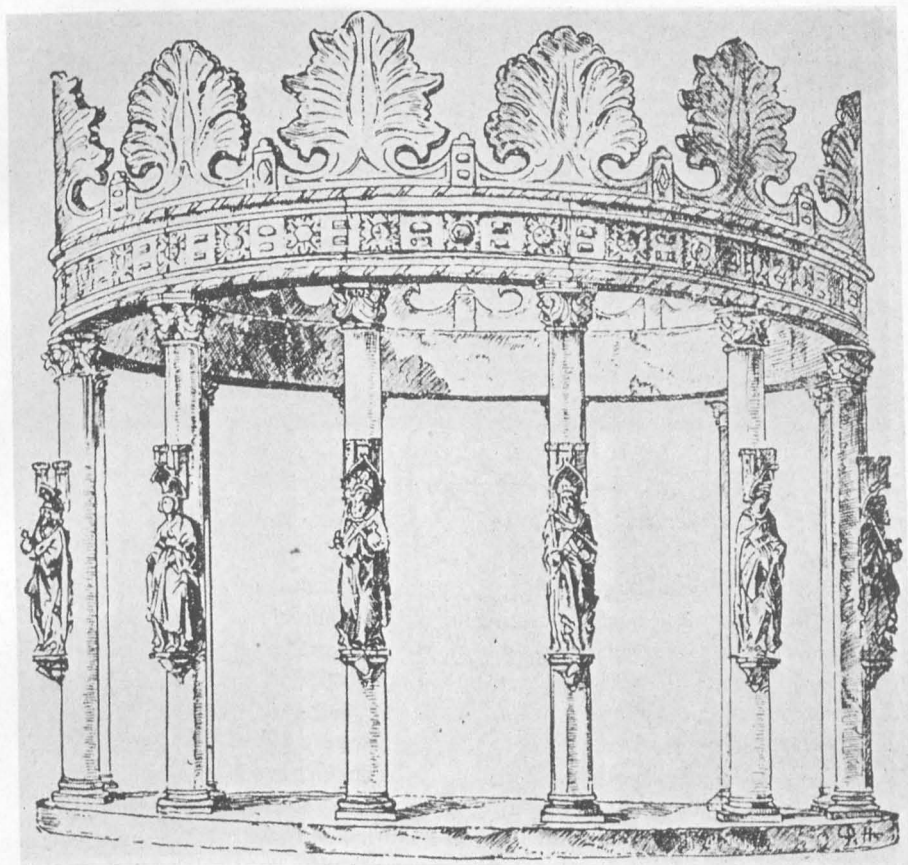


Abb. II:  
Marmormonument Maximilians I. für Speyer.  
Rekonstruktionszeichnung von Ph.M. Halm (1911/26).

von ihm selbst verfaßtes Gebet vor, in dem er ebenfalls auf den überdynastischen Charakter der Reichsnekropole hinwies, und Maximilian selbst unterstrich das zwischen 1514 und 1519 mit dem Auftrag zum Bau eines großen, im Dom aufzustellenden **Marmormonuments**, von dem sich **Reste** erhalten haben.

11, 12,  
13

Hier ist nun der Punkt erreicht, an dem die Hilfe der Kunst- und Bauhistoriker in Anspruch genommen werden muß, denn die Kapitel 5 und 6 behandeln die Grabkirche und die Gestaltung der Grablege selbst. Für die Grabkirche ist zunächst die Lage zu beschreiben und die Funktion als Dom-, Stifts- oder Klosterkirche zu benennen, der (oder die) Stifter zu ermitteln und der Bau im Hinblick auf seine Geschichte und Archäologie zu kennzeichnen. Heute noch mögliche Angaben zur Ausstattung müssen



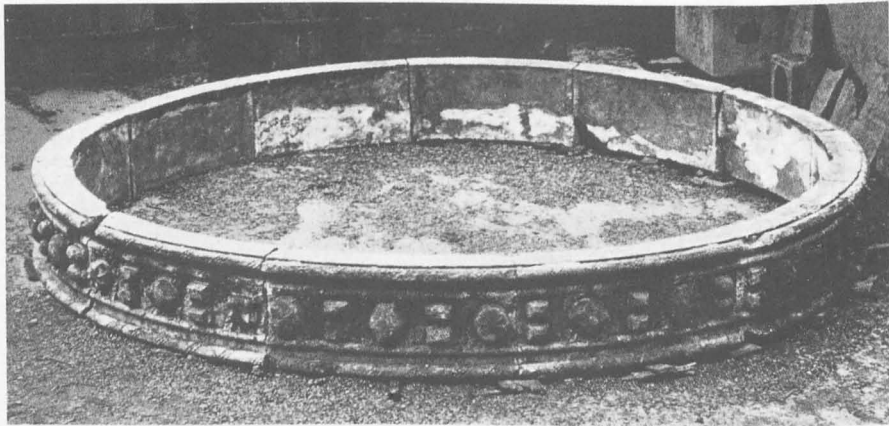


Abb. 12:  
*Krone vom Monument Maximilians I.*

gesammelt werden, um die schriftlichen Zeugnisse über das Stiftungswesen zu ergänzen und von hier aus weitere Hinweise für die Verbindung des am Ort bestatteten Königs mit seiner Grabkirche zu gewinnen. Weil die Verehrung bestimmter Heiliger dabei von großem, oft ausschlaggebendem Gewicht war, müssen die Patrozinien und der Reliquienbesitz aufgenommen werden. Nicht immer gibt es dafür so ausgezeichnete Quellen wie den Patrozinienkatalog der Quedlinburger Annalen zu 1021, in dem wir für die Grabkirche Heinrichs I. auch Dionysius finden, dessen Nennung man wohl mit dem Bericht Widukinds von Corvey über die Schenkung einer Handreliquie dieses Heiligen an Heinrich I. durch Karl III. von Westfranken-Frankreich verbinden darf, eine Translation, der im sächsischen Geschichtsverständnis des 10. Jahrhunderts entscheidende Bedeutung für den Übergang Lothringens ans Reich zukam.

Mit der Frage nach Gestaltung der Grablege (Kap. 6) verbindet sich die Aufgabe einer kurzgefaßten Beschreibung der Monumente, soweit sie heute noch vorhanden, durch Abbildungen oder Beschreibungen bekannt sind. Erst auf Grund eines solchen Überblicks wird sich mehr über zeitgenössische Programmvorstellungen hinsichtlich der Anlage von Königsgräbern sagen lassen. Der allgemeine Eindruck des bild- und schmucklosen Grabes wird nur durch die **Bronzeplatte** für Rudolf von Schwaben († 1080) im Merseburger Dom durchbrochen, das „früheste figürliche Grabmal eines Laien, das sich aus dem Mittelalter erhalten hat“ (BAUCH, Grabbild, S. 11) und bei den Zeitgenossen Aufsehen erregte:

„Über den Kaiser (Heinrich IV.) wird berichtet: Nachdem diese (sächsischen) Aufstände einigermaßen niedergeschlagen waren, sei er einmal in die Merseburger Kirche gekommen und habe dort diesen Rudolf wie einen König bestattet liegen gesehen; als ihn nun einer fragte, warum er zugelassen habe, daß jemand, der nicht König gewesen sei, mit königlichen Ehren bestattet liege, habe er gesagt: 'Möchten doch alle meine



Abb. 13:  
Statuen vom Monument Maximilians I.

Feinde so ehrenvoll begraben sein!“ (OTTO VON FREISING/RAHEWIN, *Gesta Frederici*, I.7).

*Regali honore* bezieht sich hier auf die Attribute der Liegefigur, nicht aber auf das Bildwerk als solches, denn es gibt vor dem 13. Jahrhundert kein zweites skulptiertes Königsgrab im römisch-deutschen Reich. Die Saliergräber waren durch ein **Monument** gekennzeichnet, das 1689 zwar von den Franzosen zerstört, aber durch eine um 1648 für den Kardinal Chigi angefertigte Zeichnung überliefert worden ist. Es bestand demnach aus sechs vor dem Kreuzaltar im sog. Königschor nebeneinanderliegenden Marmorplatten, auf einem Sockel aus kassettierten Feldern. (Davor vier Platten für 1.: Philipp von Schwaben, 2.: Rudolf von Habsburg, 3.: Beatrix/Albrecht von Österreich, 4.: Agnes/Adolf von Nassau). Steht der Besucher mit dem Blick zum Kreuzaltar vor dieser Anlage, so kann er von Nord nach Süd fortschreitend folgende Inschrift lesen:

15



Abb. 14:  
 Bronzeplatte Rudolfs von Schwaben; Merseburg, Dom (nach 1080).

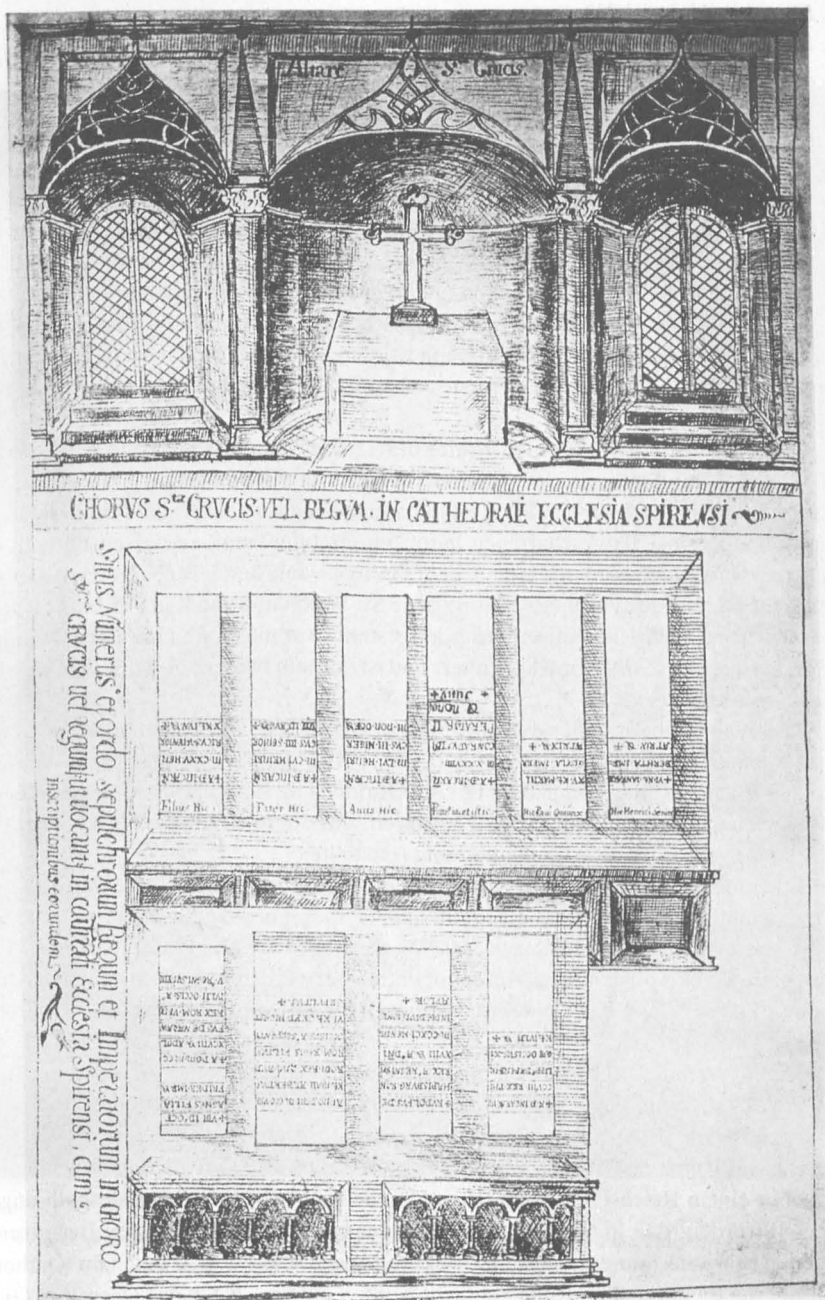


Abb. 15:  
Saliermonument in Speyer, Ansicht um 1648.

1. *Filius hic* (Heinrich V.),
2. *Pater hic* (Heinrich IV.),
3. *Avus hic* (Heinrich III.),
4. *Proavus iacet istic* (Konrad II.),
5. *Hic proavi coniux* (Gisela),
6. *Hic Henrici senioris* (Berta).

Hier wird also durch Angabe der mit einer Ausnahme anonymen Verwandtschaftsverhältnisse der Zusammenhang einer Familie betont, während vom Kreuzaltar her, mit den Augen des Herrn, Namen und Sterbedaten lesbar sind. Diese nun individuelle Kennzeichnung soll uns im Zusammenhang mit der Memoria noch einmal beschäftigen. Das Monument ist schon im ersten Drittel des 13. Jahrhunderts durch Burchard von Ursberg sehr ausführlich beschrieben worden, mag aber bald nach der Bestattung Heinrichs V. († 1125) errichtet worden sein, weil die Bezeichnung als *filius* doch wohl zeitliche Nähe voraussetzt.

16, 17 Wahrscheinlich in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts wurde in Königsutter ein **Grabmal** mit den liegenden Figuren Lothars von Süpplingenburg, Heinrichs des Stolzen und Richenzas errichtet; Reste entdeckte man im Jahre 1978 bei Restaurierungsarbeiten am 1708 geschaffenen barocken Grabdenkmal, zu dessen Füllung die Trümmer verwendet worden waren. Ebenfalls ins 13. Jahrhundert gehört das Grabbild Heinrichs III. aus der Vierung der Stiftkirche St. Simon und Judas in Goslar. Seit 1884 in der Ulrichskapelle des Kaiserhauses aufgestellt, war die Tumba mit der Liegefigur möglicherweise als Stiftergrab konzipiert und ist deshalb bemerkenswert, weil sie eine Intestbestattung deckte.

Warum aber gibt es außer den angeführten Beispielen, von denen noch dazu zwei erst lange nachträglich gefertigt wurden, vor 1291 (Rudolf von Habsburg in Speyer) keine figürlichen Königsgrabmäler? Für die Ottonen läßt sich ein Beschluß der Synode von Tribur aus dem Jahr 895 (Mai 5) anführen, der ältere Bestimmungen erneuerte, „Ut nullus laicus in ecclesia sepeliatur“ und feststellte:

„Früher in der Kirche bestattete Körper sollen auf keinen Fall entfernt werden, sondern, nachdem Estrich darüber gelegt und keine Spur eines Grabes mehr sichtbar ist, ehrfürchtig in der Kirche erhalten werden. Wo das wegen der Menge der Körper schwer durchzuführen ist, soll der Ort als Friedhof betrachtet werden, nachdem man den Altar an einen Platz versetzt hat, an dem Gott das Opfer angemessen dargebracht werden kann.“

In Tribur waren u. a. Hatto von Mainz, Hermann von Köln und Adalgar von Bremen anwesend, ferner Wigbert von Hildesheim, Sigimund von Halberstadt, Drogo von Minden, Biso von Paderborn und Egilmar von Osnabrück, d.h. außer Wigbert von Verden und Wolfhelm von Münster hatten alle sächsischen Bischöfe an den Beschlüssen dieser mit einem Reichstag verbundenen Synode mitgewirkt. Es kann deshalb angenommen werden, daß in Sachsen am Gebot der bildlosen, unauffälligen Bestattung festgehalten wurde, war es doch keineswegs selbstverständlich, daß Laien im Kirchenraum überhaupt zur letzten Ruhe gebracht werden durften. Noch das Decretum Gratiani verbot um 1142 das Begräbnis in der Kirche außer im Atrium (can. 15), ließ aller-



Abb. 16:  
*Grabmal Lothars von Süpplingenburg, Heinrichs des Stolzen und der Kaiserin Richenza  
in Königslutter (2. Hälfte 13. Jh.?).*





Abb. 17:  
Wie Nr. 15 (Rekonstruktion).

dings Ausnahmen zu für Bischöfe, Äbte, würdige Priester und glaubensfeste Laien (can. 18). Die Synode von Tribur stand dagegen noch in der entschiedeneren Tradition der Kirchenversammlungen von Aachen (809) und Mainz (813: „Ut mortui in ecclesia non sepeliantur, nisi episcopi aut abbates vel fideles et boni presbiteri“). Gegenüber der strikten räumlichen Trennung der Lebenden von den Begräbnisplätzen der Toten, wie sie in der christlichen Antike üblich war, bedeutete schon die Aufstellung von Konstantins des Großen Sarkophag im Vorraum der Apostelkirche in Konstantinopel ein Novum, eigentlich bahnbrechend aber wirkte der Wunsch des Ambrosius von Mailand, in seiner Kathedrale beigesetzt zu werden: Der Priester sollte dort ruhen, wo er das Opfer dargebracht habe.

Ein weitergehendes Verständnis mittelalterlicher Grablegebräuche ist freilich auch dann kaum möglich, wenn man den Blick über die Befunde hinaus nur auf Kirchengeschichte und Kirchenrecht erweitert. Tod und Begräbnis sind derart fundamentale Ereignisse, daß wir uns schon etwas tiefer auf Liturgie und Frömmigkeit der Zeit einlassen müssen, um überhaupt Interpretationsansätze zu erkennen. Ich möchte deshalb einige methodische Vorschläge zur Ausarbeitung entsprechender Fragestellungen machen.

\*

Die Grundbestandteile der frühmittelalterlichen Sterbeliturgie sind durch die Forschungen Damien Sicards gut bekannt. Gebetsbeistand für den Sterbenden, Rekonziliation und Darreichung des Viaticum vor dem Tod, Waschung und Neubekleidung danach, Aufbahrung in der Kirche, Fürbittgebete bis zur Beisetzung bildeten ein Ritual, das im Laufe der Zeit immer weiter ausgestaltet wurde. Bei dieser Differenzierung hatte ein schon aus monastischen Kreisen der alten Kirche stammender, bald immer dramatischer formulierter Gedanke bedeutende Wirkung: Die Vorstellung vom Einbruch dämonischer Kräfte und ihr Kampf um die Seele des Sterbenden. Ihr setzte man die *commendatio animae* entgegen, die seit dem 8. Jahrhundert aus Psalmenrezitation (besonders der Bußpsalmen) und Lesung der Leidensgeschichte Christi bestand, verbunden mit der Anrufung der Heiligen und bestimmten Gebeten. Wie die Lebensbeschreibungen der Königin Mathilde zeigen, ist bei ihrem Tod am 14. März 968 diese monastisch geprägte Sterbeliturgie verwendet worden.

Ein fester Glaube an die Gegenwart von Engeln und Dämonen am Sterbelager ist auch aus hochmittelalterlichen Texten (z.B. dem um 1200 entstandenen Exordium magnum Cisterciense) und **Bildern** gut bezeugt, ebenso die Hoffnung, daß auch der Gebetsbeistand von **Engeln** unterstützt werde. Die liturgischen Akte nach eingetretenem Tod, also Waschung und Ankleidung, Aufbahrung mit brennenden Kerzen, Psalmenlesung und Aspergierung, Überführung in die Kirche durch den Klerus mit Vortragekreuz, Weihwasser, Rauchfaß und Kerzenleuchtern sind ebenfalls mehrfach dargestellt worden. Eine um 1195 gearbeitete **Grabplatte** aus dem Hildesheimer Domkreuzgang zeigt die Ankleidung des verstorbenen Priesters Brun durch zwei Diakone, wobei die Anwesenheit Armer und Schutzbedürftiger ein signifikanter Zug ist, der im Hinblick auf die Memoria noch zu erklären sein wird. Bei der anschließenden Aufbahrung





Abb. 18:  
Kampf um die Seele des Verstorbenen.

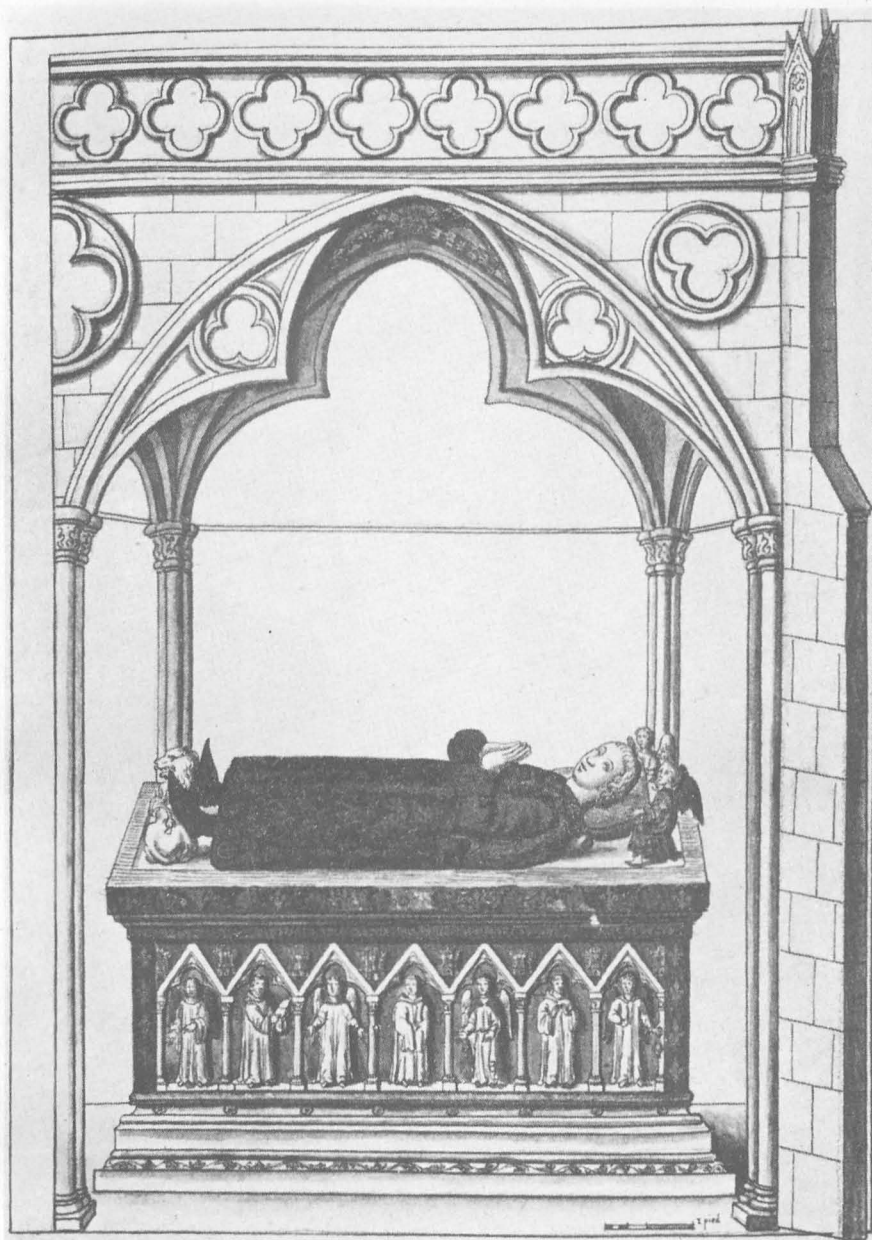


Abb. 19:  
*Grabmal Philipps von Frankreich; Royaumont, Abteikirche (nach 1235).*



Abb. 20:  
Grabplatte aus dem Domkreuzgang, Hildesheim.



Abb. 21:  
Grabplatte eines Mannes in weltlicher Tracht; Abteikirche Notre-Dame de Josaphat  
(vor Chartres, um 1220).



Abb. 22:  
*Grabmal des Grafen Konrad Kurzbold; Stiftskirche St. Georg und St. Nikolaus, Limburg  
(nach 1235).*





Abb. 23:

Grabmal des Grafen Konrad Kurzbold; Stiftskirche St. Georg und St. Nikolaus, Limburg (nach 1235).

des Toten konnten **Engel** behilflich sein, und ein Bild des auf gefältelter Decke liegend aufgebahrten Toten gibt das nach 1235 entstandene **Grabmal** des bereits 948 verstorbenen Grafen Kronrad Kurzbold in der Stiftskirche St. Georg und St. Nikolaus in Limburg an der Lahn. Es zeigt eine Art der Beisetzungsvorbereitung, die wir aus Richers Erzählung vom Leichenbegängnis König Lothars in Reims schon kennen. 21, 22, 23

Der gleiche Autor berichtet, daß die königliche Bahre von den Großen des Reiches in das Remigiuskloster getragen wurde. Voran gingen Bischöfe und Klerus mit Evangelien und Vortragekreuzen, nahe bei ihnen wurden Krone und die anderen Herrschaftszeichen mitgeführt. Es folgten die weltlichen Vasallen (*milites*) in hierarchischer Ordnung, schließlich eine Volksmenge, wobei die Trauer deutlich, aber zeremoniell und standesspezifisch zum Ausdruck gebracht wurde: Die Kleriker konnten das *melos funebre* mit tränenerstickter Stimme nur mühsam singen, die weltlichen Großen gingen *mesto vultu* einher, nur das Volk ließ seinen Gefühlen *cum lamentis* freien Lauf.

Einen solchen **Trauerzug** mit der von vier Trägern (unter ihnen zwei Könige, einer davon ist Heinrich III. von England gewesen) erhobenen Bahre, gefolgt von zwei Bischöfen, weiteren Klerikern und Laien, zeigt die Wandung am Fußende der Tumba Ludwigs von Frankreich († 1260) aus dem Zisterzienserkloster Royaumont (jetzt in St-Denis). Die Übereinstimmung der Berichte und Darstellungen aus verschiedenen Epochen ist so groß, daß wir daraus auf die allgemeine Verbreitung des Brauches schließen dürfen. 24, 25



Abb. 24:  
Grabmal Ludwigs von Frankreich; ehem. Royaumont, Abteikirche (nach 1260).



Abb. 25:

*Grabmal Ludwigs von Frankreich; ehem. Royaumont, Abteikirche (heutiger Zustand).*

Mit der Aufbahrung im Chor oder Mittelschiff der Grabkirche begann eine Folge von Messen, die sich nicht auf das einmalige Totenoffizium beschränkten. Seit dem 8. Jahrhundert sollte in der römischen Kirche 3 oder 7 Tage nach dem Tod die Messe gefeiert werden, für die Bußleistung auf jeden Fall am 7. oder am 30. Tag, nachdem die Verwandtschaft 7 Tage gefastet und Gaben zum Altar gebracht hatte. Die Angehörigen mußten also Sonderleistungen erbringen, um stellvertretend Buße zu tun, eine Bestimmung, die sich aus den schon genannten Vorstellungen vom Dämonenkampf um die Seele des Verstorbenen erklärt. Eine direkte Gebetshilfe sollte auch die Läuterungsqualen im Jenseits lindern, zumal da im frühen Mittelalter das Gericht als außerordentlich streng nicht nach Barmherzigkeit, sondern nur nach den Taten gedacht wurde. Weil das ohne Ansehen der Person geschehen sollte, mußten sich die Könige besonders bedroht fühlen, denn ihr Handeln war ja besonders folgenreich. Im 12. Jahrhundert



kam es zu der bekannten, auch in der bildenden Kunst sichtbar gemachten Abmilderung durch Hoffnung auf Erlösung durch die Fürbitte Christi, aber bis dahin galt, was die Fuldaer Annalen zu 874 über eine Traumvision Ludwigs des Deutschen berichten: „Er sah seinen Vater, den Kaiser Ludwig, in Ängsten und Nöten, der ihn folgendermaßen lateinisch anredete: 'Ich beschwöre Dich bei unserem Herrn Jesus Christus und der dreieinigen Majestät, daß Du mich aus diesen Qualen reiße, in welchen ich festgehalten bin, damit ich endlich einmal das ewige Leben haben kann.' Durch dieses Gesicht nun erschreckt sandte er Briefe durch alle Klöster seines Reiches und forderte dringend, daß sie sich der Seele in ihren Qualen durch ihre Gebete bei dem Herrn annehmen. Daraus läßt sich ersehen, daß, obwohl der erwähnte Kaiser sehr viel Lobenswürdiges und Gottgefälliges getan hatte, er doch sehr viel gegen das Gesetz Gottes in seinem Reiche geschehen ließ; denn hätte er, um vom übrigen still zu sein, der Ketzerei der Nicolaiten mannhaft widerstanden und dafür gesorgt, daß man die Mahnung des Erzengels Gabriel, welche Abt Einhard in 12 Kapiteln ihm zu lesen und auszuführen gab, auch beobachtete, müßte er vielleicht solches nicht leiden. Aber weil Gott, wie geschrieben steht, kein Vergehen ungestraft läßt und nach dem Apostel ‚nicht allein die es tun, sondern auch die den Tätern zustimmen, des Todes würdig sind‘, ist mit Recht diese Strafe zu büßen verdammt, wer die Irrtümer der ihm Anvertrauten selbst als Gewarnter nicht berichtigen wollte, solange er es konnte.“

Weil jeder Ratschlag eines Geistlichen, aus welchen Motiven er immer gegeben sein mochte, dem König in diesem Sinne „Warnung“ sein mußte, läßt sich an dieser Stelle ermesen, welche Gewissenslast die ganze königliche Familie beschweren konnte. Die unter irischem Einfluß entstandene frühmittelalterliche Bußpraxis klassifizierte Sünden nach ihrem Gewicht, und aus den tariflich festgelegten Bußen ergaben sich die festen Gedenkleistungen bei der Memoria. Sie beruhten auf dem Prinzip der reinen Tathaftung, das auch den sog. Stammesrechten zugrundelag und (ganz anders als das Abaelard im 12. Jahrhundert fordern sollte) nicht nach der Intention des Täters fragte. Aus den Stammesrechten bekannt ist auch der allgemein geltende Rechtsgrundsatz von der Kollektivhaftung der Familie, so daß die Forderung nach stellvertretender Bußleistung ganz natürlich war. Die bei Thietmar von Merseburg berichtete *remissio* für Otto III. gehört deshalb mit dem ans Volk gerichteten Aufruf zur *memoria* eng zusammen.

Diese stellvertretende Bußleistung ist deshalb zum Kern des mittelalterlichen Totengedächtnisses geworden. Eine klare Vorstellung vom Wert des Fürbittgebets der Lebenden vermittelt die Reichenauer Visio Wettini, aufgezeichnet von Abt Haito, durch Walafrid Strabo metrisch überarbeitet und wahrscheinlich zum Anlaß für die Einrichtung des Reichenauer Verbrüderungsbuches geworden. Bußliturgie und Totenliturgie gehören eng zusammen, deshalb führte der mittelalterliche Begriff des Totengedächtnisses weit über das moderne Verständnis hinaus und verlangte Handlungen, die sowohl rechtliche wie soziale Folgen haben mußten. Der Tote stand als Person mit einem höchst individuellen Schicksal im Kreis derer, die ihm Gebetshilfe leisteten, eine Hilfe, auf die er vielfach durch vorbereitende Memorialstiftungen Rechtsansprüche erworben hatte. Befreien wir unseren Blick vom oftmals sentimentalisiert-verinnerlich-

ten Klischee des bloßen „Andenkens“, dann erkennen wir eine normativ geregelte Beziehung zwischen Lebenden und Toten und können für unser Thema die Frage stellen, ob die Evokation des Königsnamens sozial, vor allem aber auch politisch integrative Kraft besessen hat und wie sich das, wenn es denn vorhanden war, äußern konnte.

Sicherung der Memoria und die Gebetsform der *laus perennis* ist jedenfalls schon früh angestrebt worden. Die um 680 verstorbene merowingische Königin Balthilde erhob die Kirchen St-Denis, St-Germain (Paris oder Auxerre?), St-Médard (Soissons), St-Pierre-le-Vif (Sens), St-Aignan (Orléans), St-Martin (Tours) in den Rang von *seniores basilicae*, und alle diese Kirchen sind auch als Grablegen der Merowinger bezeugt. Pippin und Karl der Große haben ihre Memoria durch Urkunden vorbereitet, und nach einem Hinweis Arnold Angenendts muß sogar die Sicherung des Patrimonium Petri in diesem Sinne als Opfergabe verstanden werden, ergänzt durch die Gaben einer Altarplatte, von Kultgerät und Armenstiftungen für die Peterskirche als *memoriale*. In gleicher Weise verdankte das Stift Quedlinburg seine Existenz der Aufgabe, das Totengedächtnis Heinrichs I. und der königlichen Familie zu pflegen:

„Wir sorgten für die Errichtung einer Kanonissengemeinschaft in Quedlinburg, damit von dieser das Lob des allmächtigen Gottes und seiner Erwählten in Ewigkeit gesungen sowie unser und aller unserer Angehörigen Totengedächtnis vollzogen werde,“ heißt es im ersten Diplom, das von Otto dem Großen überliefert ist (*et nostri nostrorumque omnium memoria perpetretur*). Gerd Althoff ist es gelungen, eine zwischen September 1017 und April 1018 als Block in das Merseburger Necrolog eingetragene, etwa 450 Namen umfassende Schicht als die Quedlinburger Gedenktradition der ottonischen Familie zu identifizieren. Heinrich II. hat sie aus Anlaß einer schweren Erkrankung seiner Gemahlin nach Merseburg transferieren lassen, *pro remedio animae nostre atque conctualis nostre dilectissimae Cunigunde videlicet imperatricis auguste nec non omnium parentum nostrorum* (D H II 374).

Heinrich II. war es auch, der auf einer Synode in Dortmund am 7. Juli 1005 als unsers Wissens erster Herrscher die Initiative zu einer Gebetsverbrüderung innerhalb der Reichskirche ergriff und selbst daran teilnahm, um die schwere Last eigener Sünde zu erleichtern (*gravem peccatorum suimet sarcinam relevari*; THIETMAR VI. 18.). Wenn dort u.a. festgelegt wurde, daß die Bischöfe innerhalb von 30 Tagen jeder eine Messe für ein verstorbene Bundesmitglied feiern, König und Königin aber innerhalb von 30 Tagen 1.500 Pfennige für die Lösung der Seele geben und außerdem 1.500 Arme speisen sollten, so verweist das einerseits auf den 30. Tag, an dem die Seelen aus der Läuterung befreit werden konnten, andererseits auf die Bedeutung der Armenstiftungen im Memorialwesen, eine Erscheinung, die uns am Grabbild des Hildesheimer Presbyters Brun schon begegnet ist. Im übrigen hatte im Jahre 1005 eine der größten aus dem Mittelalter bekannten Hungerkatastrophen die Kirchenprovinz Köln besonders schwer heimgesucht, und die Kölner Suffragane waren in Dortmund vollzählig anwesend.

Die herausragendste königliche Memorialstiftung unseres Zeitraumes aber war der Dom zu Speyer. Die Salier hatten vor ihrer Königszeit eine Familiengrablege im Dom zu Worms gehabt, und die früh verstorbene Gemahlin Heinrichs III., Gunhild, wurde 1038 noch im Bendiktinerkloster Limburg an der Hardt beigesetzt, aber schon am

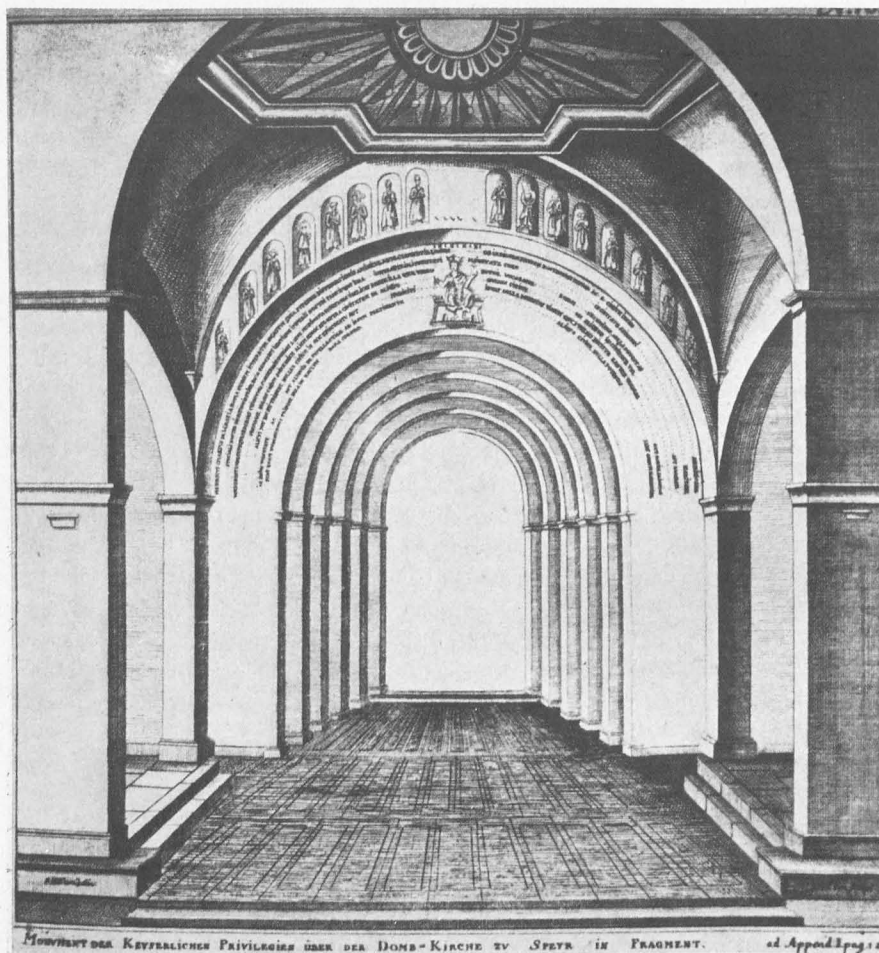


Abb. 26:  
Westvorhalle des Doms zu Speyer; Kupferstich (1756).

11. September 1024 erfüllte Konrad II. ein für den Fall seiner Königswahl gültiges Gelübde durch eine Schenkung an das Speyerer Domkapitel. Im Bericht der Vita Bennonis (c. 4) klingt ein weiteres Motiv an:

„Diese frommen Kaiser hatten offensichtlich den lobenswerten Wunsch, da sie mit ihren Mitteln ein neues Bistum im Reich nicht gründen konnten, dieses Bistum (Speyer), das schon fast kein Bistum mehr war, mit ihrem Vermögen wieder aufzubauen und zu einer Stätte ihres Totengedächtnisses zu machen.“ Neben dem Memorialaspekt muß die Wendung „quia in regno fundare episcopatum ex suis divitiis occasio-

nem non habebant“ auffallen, denn sie legt die Annahme nahe, daß Konrad II. und seine Nachfolger die Bistumsgründungen Ottos des Großen und Heinrichs II., Magdeburg und Bamberg, vor Augen hatten, als sie den Neubau des Speyerer Domes einleiteten und ausführten.

Die Salier besaßen, wir sagten es schon, vor Konrads II. Königtum eine zentrale Grablege der Familie in Worms. Man muß das vor dem Hintergrund anderer Befunde sehen: Im Gegensatz zu ihren ottonischen Amtsvorgängern etwa oder zu noch im Hochmittelalter herrschenden Diskontinuitäten bei den Welfen in Sachsen (Königsliutter, Braunschweig) und in Süddeutschland (Weingarten, Steingaden), bei Wettinern (Gerbstedt, Petersberg bei Halle, Altzelle) oder Babenbergern (Melk, Klosterneuburg, Heiligenkreuz). Es stellt sich demnach die Frage, warum die Grablege Konrads des Roten und seiner Nachkommen aufgegeben und eine neue Tradition begründet worden ist.

Sollte dieser Wechsel den Unterschied zwischen Adel und Königtum zum Ausdruck bringen? Wollte Konrad II. die nun gesteigerte Bedeutung seiner Familie durch einen Kathedralbau demonstrieren, der nicht gut in Worms begonnen werden konnte, wo Bischof Burchards Neubau eben vollendet war? Durch die Bestattung Heinrichs III. neben seinem Vater wurde das Stiftergrab Teil einer dynastischen Tradition, die Heinrich IV. im Sinne eines *summum votum* (D H IV 466; 1101) fortsetzte. Karl Schmid hat angenommen, daß der ganze Umbau des Speyerer Doms, von Heinrich IV. trotz aller Krisen seiner Regierung beharrlich vorangetrieben, sich am besten als Einlösung eines Gelübdes erklären lasse, und damit wird in der Tat die grundsätzliche Einheit von Familienbewußtsein, Königsherrschaft und Grablegebrauch unterstrichen. Das **Privileg** Heinrichs V. vom 14. August 1111 für die Bürger von Speyer ist über dem Portal in der Westvorhalle des Doms wiederholt worden; ausgestellt „pro remedio anime cari patris nostri, felicis memorie Heinrici imperatoris“, verpflichtete es alle Bürger zum Anniversar. Diese Kombination von Rechtstext und Herrscherbild am Kirchenbau über der Grablege des Herrscherhauses mit der Memoria weist auf Zusammenhänge, die eine genauere Dokumentation und Analyse verdienen.

26

### Literatur

- [1] Althoff, Gerd: Beobachtungen zum liudolfingisch-ottonischen Gedenkwesen, in: → Memoria, S. 649–665.
- [2] Althoff, Gerd: Königs- und Adelsfamilien im Spiegel ihrer Memorialüberlieferung. Studien zum Totengedenken der Billunger und Ottonen. (Münstersche MA-Schriften, Bd. 47.) München 1984.
- [3] Althoff, Gerd: Unerkannte Zeugnisse vom Totengedenken der Liudolfinger, in: DA 32 (1976), S. 370–404.
- [4] Angenendt, Arnold: Mensa Pippini regis, in: Hundert Jahre deutsches Priesterkolleg beim Campo Santo Teutonico, 1876–1976. Beiträge zu seiner Geschichte. Supplementheft 35 z. Römischen Quartalschrift f. christl. Altertumskunde u. Kirchengesch. Rom 1977, S. 52–68.
- [5] Annales Fuldenses. MGH SS rer. Germ.
- [6] Annales Quedlinburgenses. MGH SS 3, S. 22–90.

- [7] Bada, J.L./Herrmann, B./Payan, I.L./Man, E.H.: Amino acid racemization in bone and the boiling of the German Emperor Lothar I, in: *Applied Geochemistry* 4 (1989), S. 11–15.
- [8] Bauch, Kurt: *Das mittelalterliche Grabbild. Figürliche Grabmäler des 11. bis 15. Jahrhunderts in Europa*. Berlin 1976.
- [9] Bland, Olivia: *The Royal Way of Death*. London 1985.
- [10] Bloch, Marc: *Les rois thaumaturges. Étude sur le caractère surnaturel attribué à la puissance royale particulièrement en France et en Angleterre*. (Publ. de la faculté des lettres de l'université de Strasbourg, Bd. 19.) Straßburg 1924.
- [11] Borgolte, Michael: Art. „Grablege“, in: *Lexikon des Mittelalters*, Bd. 4 (1989), Sp. 1628f.
- [12] Budde, Rainer: *Deutsche Romanische Skulptur, 1050–1250*. München 1979.
- [13] Burchard von Ursberg: *Chronicon*. MGH SS rer. Germ.
- [14] *Concilium Triburiense*. MGH Capit. 2, S. 196–249, Nr. 252.
- [15] Copy, Jean-Yves: *Art, société et politique au temps des ducs de Bretagne. Les gisants haut-bretons*. Paris 1986.
- [16] *Death in the Middle Ages*. Hrsg. von H. Braet und W. Verbeke. (Mediaevalia Lovaniensia, Ser. 1: Studia, Bd. 9.) Löwen 1983.
- [17] Duval, Yvette: *Auprès des saints, corps et âmes. L'inhumation ad sanctos dans la Chrétienté d'Orient et d'Occident du III<sup>e</sup> au VII<sup>e</sup> siècle. (Études augustinienes.)* Paris 1988.
- [18] Ehrentraut, Hartmut: *Bleierne Inschrifttafeln aus mittelalterlichen Gräbern*. Diss. Ms. Bonn 1951.
- [19] Erlande-Brandenburg, Alain: *Le roi est mort. Étude sur les funérailles, les sépultures et les tombeaux des rois de France jusqu'à la fin du XIII<sup>e</sup> siècle*. (Bibliothèque de la Société Française d'Archéologie, Bd. 7.) Genf 1975.
- [20] *Exordium magnum Cisterciense sive Narratio de initio Cisterciensis Ordinis*. Hrsg. von B. Grieser. (Series scriptorum S. Ordinis Cisterciensis, Bd. 2.) Rom 1961.
- [21] Giesey, Ralph E.: *Le roi ne meurt jamais. Les obsèques royales dans la France de la Renaissance*. Paris 1987.
- [22] Gottfried von Ensmingen: *Gesta Rudolfi* (im *Chronicon Ellenhards von Straßburg*). MGH SS 17, S. 118–141.
- [23] Guglia, Eugen: *Die Geburts-, Sterbe- und Grabstätten der römisch-deutschen Kaiser und Könige*. Wien 1914.
- [24] Hatto von Reichenau: *Visio Wettini*. MGH Poet. lat. 2, S. 267–275.
- [25] Halbwachs, Maurice: *La mémoire collective*. Paris 1950.
- [26] Hamann-Mac Lean, Richard: *Die Reimser Denkmale des französischen Königtums im 12. Jahrhundert. Saint-Remi als Grabkirche im frühen und hohen Mittelalter*, in: *Beiträge zur Bildung der französischen Nation im Früh- und Hochmittelalter*. Hrsg. von H. Beumann. (NATIONES, Bd. 4.) Sigmaringen 1983, S. 93–259.
- [27] Hildegard von Bingen: *Scivias*. Hrsg. von A. Führkötter. (Corpus Christianorum, Cont. Med., Bd. 43.) Turnhout 1978.
- [28] Kantorowicz, Ernst H.: *The King's Two Bodies. A Study in Mediaeval Political Theology*. Princeton, N.J. 1957.
- [29] Kötting, Bernhard: *Die Tradition der Grabkirche*, in: → *Memoria*, S. 69–78.
- [30] Kroos, Renate: *Grabbräuche – Grabbilder*, in: → *Memoria*, S. 285–353.
- [31] Krüger, Karl Heinrich: *Königsgrabkirchen der Franken, Angelsachsen und Langobarden bis zur Mitte des 8. Jahrhunderts*. (Münstersche MA-Schriften, Bd. 4.) München 1971.
- [32] Kubach, Hans Erich/Haas, Walter (Hrsg.): *Der Dom zu Speyer*. Textband, Bildband, Tafelband. (Die Kunstdenkmäler von Rheinland-Pfalz.) München 1972.
- [33] *L'Église et la mémoire des morts dans la France médiévale*. Hrsg. von J.-L. Lemaître. (Études augustinienes.) Paris 1986.

- [34] La figuration des morts dans la Chrétienté médiévale jusqu'à la fin du premier quart du XIV<sup>e</sup> siècle. (Cahiers de Fontevraud, Bd. 1.) Longué 1989.
- [35] Liber historiae Francorum. MGH SS rer. Mer. 2, S. 238–328.
- [36] Memoria. Der geschichtliche Zeugniswert des liturgischen Gedenkens im Mittelalter. Hrsg. von K. Schmid und J. Wollasch. (Münstersche MA-Schriften, Bd. 48.) München 1984.
- [37] Oexle, Otto Gerhard: Die Gegenwart der Toten, in: → Death in the Middle Ages, S. 19–77.
- [38] Oexle, Otto Gerhard: Memoria und Memorialbild, in: → Memoria, S. 384–440.
- [39] Oexle, Otto Gerhard: Memoria und Memorialüberlieferung im frühen Mittelalter, in: Frühma. Studien 10 (1976), S. 70–95.
- [40] Otto von Freising/Rahewin: Gesta Frederici. Hrsg. von F.-J. Schmale. (Ausgew. Quellen z. dt. Gesch. d. MA, Bd. 17.) Darmstadt 1965.
- [41] Pfeiffer, Maximilian: Der Besuch König Maximilians I. in Speier 1494. Mit einem verschollenen authentischen Bericht, in: Mitteilungen des Hist. Vereins der Pfalz 32 (1912), S. 61–108.
- [42] Richer von Reims: Historiae. Hrsg. von R. Latouche. 2 Bde. (Les classiques de l'histoire de France au moyen âge, Bd. 12 u. 17.) Paris 1930/37.
- [43] Rötting, Hartmut: Die Grablegung Kaiser Lothars III. am 31. Dezember 1137, in: Ausgrabungen in Niedersachsen. Archäologische Denkmalpflege 1979–1984. Hrsg. von K. Wilhelm. Stuttgart 1985, S. 287–293.
- [44] Sauerländer, Willibald: Gotische Skulptur in Frankreich, 1140–1270. München 1970.
- [45] Schäfer, Dietrich: Mittelalterlicher Brauch bei der Überführung von Leichen, in: SB Berlin 1920, Nr. 26, S. 478–498.
- [46] Schmid, Karl: Die Sorge der Salier um ihre Memoria. Zeugnisse, Erwägungen und Fragen, in: → Memoria, S. 666–726.
- [47] Schmid, Karl/Wollasch, Joachim: Die Gemeinschaft der Lebenden und Verstorbenen in Zeugnissen des Mittelalters, in: Frühma. Studien 1 (1967), S. 365–405.
- [48] Schramm, Percy Ernst: Der König von Frankreich. Das Wesen der Monarchie vom 9. zum 16. Jahrhundert. 2 Bde. 2. Aufl. Darmstadt 1960.
- [49] Schramm, Percy Ernst: Herrschaftszeichen und Staatssymbolik. 3 Bde. (Schriften d. MGH, Bd. 13/I–III.) Stuttgart 1954/55/56.
- [50] Schramm, Percy Ernst/Mütherich, Florentine: Denkmale der deutschen Könige und Kaiser. (Veröff. d. Zentralinstituts f. Kunstgeschichte, Bd. 2.) München 1962.
- [51] Sicard, Damien: La liturgie de la mort dans l'Église latine des origines à la réforme carolingienne. (Liturgiewiss. Quellen u. Forschungen, Bd. 63.) Münster 1978.
- [52] Thietmar von Merseburg: Chronicon. MGH SS rer. Germ.
- [53] Tummers, H.A.: Early Secular Effigies in England. The Thirteenth Century. Leiden 1980.
- [54] Vita Bennonis II. episcopi Osnabrugensis. MGH SS rer. Germ.
- [55] Vita Mahthildis antiquior. MGH SS 10, S. 573–582.
- [56] Vita Mahthildis posterior. MGH SS 4, S. 282–302.
- [57] Walafrid Strabo: Visio Wettini. MGH Poet. lat. 2, S. 301–334.
- [58] Weber, Hermann J.: Die Lehre von der Auferstehung der Toten in den Haupttraktaten der scholastischen Theologie. (Freiburger Theol. Studien, Bd. 91.) Freiburg i.Br. 1973.
- [59] Widukind von Corvey: Res gestae Saxonicae. MGH SS rer. Germ.
- [60] Wilhelm von Jumièges: Gesta Normannorum ducum. Hrsg. von J. Marx. Rouen 1914.
- [61] Wipo: Gesta Chuonradi II. imperatoris. MGH SS rer. Germ.
- [62] Wollasch, Joachim: Gemeinschaftsbewußtsein und soziale Leistung im Mittelalter, in: Frühma. Studien 9 (1975), S. 268–286.
- [63] Wollasch, Joachim: Geschichtliche Hintergründe der Dortmunder Versammlung von 1005, in: Westfalen 58 (1980), S. 55–69.

### **Bildquellennachweis**

Budde: 22f. – Erlande-Brandenburg: 24f. – Hildegard von Bingen: 18. – Kubach/Haas, Bildbd.: 1–11, 15, 26. – Kubach/Haas, Textbd.: 5–7, 12f. – Memoria: 20. – Rötting: 16f. – Sauerländer: 19, 21. – Schramm/Mütherich: 14.

## Was wird aus der Nordsee und ihrem Küstenraum? Ökologische Trends, Zeitrahmen, umweltpolitischer Konsequenzen.

Kurzfassung des Vortrages am 10. März 1989 in Braunschweig

Von Konrad Buchwald

Die Deutsche Bucht ist nicht nur einer der höchstbelasteten sondern auch der ökologisch empfindlichsten Teilräume der Nordsee. Die Nordsee als ganzes gehört zugleich zu den am besten untersuchten Meeren der Erde. Trotzdem: Immer wieder werden die Lücken unseres Wissens angesichts der Komplexität des Systems Nordsee deutlich.

Deutlich wird aber auch das enorme ökologische Risiko für die Zukunft der Nordsee. Dies gilt aufgrund der heute erkennbaren Trends in der Entwicklung wichtiger Belastungsfaktoren, der **Koinzidenz** zwischen der Zunahme von Fischkrankheiten (wie bei der Kliesche) und der Konzentration bestimmter Schadstoffe sowie angesichts der über mehrere Jahrzehnte verfolgten Degradationsprozesse der Lebensgemeinschaft des Meeresbodens in **Testräumen** wie der Doggerbank, der Jade und dem Schlickfanggebiet der inneren Deutschen Bucht.

Entscheidende neue Erkenntnisse über die Auswirkungen von Belastungen auf die marinen Ökosysteme haben uns „**naturnahe**“ **Freilandexperimente** in Kombination mit Laboruntersuchungen im Gefolge einer künstlichen Verölung in den Jadewatten oder beim Eintrag von Schwermetallen in Bremerhaven-Caissons in den Rückseitenwatten der Ostfriesischen Inseln gebracht.

Dies alles erlaubt es uns heute – 10 Jahre nach dem Nordseegutachten (1980) – erneut eine **ökologische Situationsanalyse** der Nordsee vorzunehmen. Diese aber fällt – **zunächst örtlich und regional** – erschreckend aus:

- Medienwirksam war zunächst eine Serie von Teilkatastrophen wie Robbensterben und Massenentwicklung der Goldalge mit folgendem Lachssterben.
- Für den Ökologen beunruhigender als diese spektakulären Ereignisse sind die unauffälligeren, aber tiefgreifenderen und grundsätzlichen Wandlungen der Nordseeökosysteme wie
  - die überall vorhandenen und nach Zahl und Menge zunehmenden Schadstoffe,
  - die dadurch bewirkten Wandlungen der Ökosysteme am Meeresboden mit massiven Veränderungen der Artenverbindungen,
  - die vermehrten Mißbildungen und Erkrankungen der Fische als Anzeiger der Belastungen
  - und die mittel- oder langfristigen Zusammenbrüche von Lebensgemeinschaften.

Nach den Erfahrungen in den hochbelasteten Küstenmeeren vor der Ostküste der USA besteht die Gefahr, daß solche örtlichen und regionalen Prozesse sich **großräumig** ausdehnen.



Forschungen der letzten fünf Jahre zu Fragen des **Transports und der Sedimentation von Schadstoffen** in der Nordsee machen deren Funktion als Zwischen- und **Endlager** für eingetragene Schadstoffe deutlich. Sie zeigen, daß die Schadstoffeinträge nicht rückgängig zu machen sind („Was in der Nordsee drin ist, kommt nicht mehr heraus“).

Angesichts dieser Situation wird es nötig, endlich mit Maßnahmen der **Umweltvorsorge** anstelle der bisherigen **Nachsorge** zu beginnen, d.h. den Eintrag toxischer und düngender Substanzen nach einer Phase stufenweiser Minimierungen zu beenden.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat dies bereits im Nordseegutachten (1980) grundsätzlich und eindeutig gefordert – ohne jeden Erfolg. Das z.Zt. praktizierte Instrument der Umweltnachsorge ist die Einhaltung von Grenzwerten der Konzentration von Schadstoffen bei Emissionen in Luft, Wasser und Boden. Unerläßlich werden – als Instrument der Vorsorge – **Produktionsumstellungen** durch neue Technologien ohne schädliche Nebenprodukte.

Dies gilt zunächst schwerpunktmäßig für die Chemische Industrie, aber auch in der Landwirtschaft. Fällig wird eine Optimierung der kommunalen Abfallwirtschaft.

Vorsorge bedeutet auch den **Verzicht** auf bestimmte umweltgefährdende Produktionen mit hochtoxischen End- und Nebenprodukten. Wegen ihrer Persistenz, Toxizität und hohen Anreicherungsraten in Organismen gilt dies vor allem für schwermetallhaltige Verbindungen, Chlorkohlenwasserstoffe und verwandte Verbindungen.

„Zur Zeit verlagern wir lediglich die Probleme. Wir schieben sie vor uns her und belasten andere Räume und Menschen sowie kommende Generationen durch Deponien, Zwischenlager, Verklappung in das Meer, Verbrennungsanlagen auf dem Festland und auf See durch Immissionen in die Umweltmedien Luft, Wasser und Boden; Unsere heutigen umweltpolitischen Maßnahmen stoßen nicht zu den Ursachen vor. Wir setzen überwiegend nur Reinigungstechniken ein, statt die Schadstoffentstehung im Produktionsprozess zu verhindern. Nötig wird eine umweltpolitische Strategie, die zum Zentrum der Risikoproduktion vorstößt, um mittel- bis langfristig vorsorglich umweltverträgliche Produktionsverfahren durchzusetzen“ (Buchwald, 1990: Nordsee – Ein Lebensraum ohne Zukunft?).

## Optimierung alter Biotechnologischer Verfahren

Von **Karl Schügerl**

Die neuen Erkenntnisse in der Bioprozeßtechnik ermöglichen es, alte Verfahren zu verbessern.

Als Beispiel sollen die Verbesserungsmöglichkeiten der Penicillinproduktion näher untersucht werden.

Seit 40 Jahren wird Penicillin G produziert. Seit dieser Zeit wurde der Produktionsstamm *Penicillium chrysogenum* durch herbeigeführte Mutation so verbessert, daß er jetzt 30–40 g/l Penicillin G produziert. Wir haben untersucht, ob eine Verbesserung der Produktionstechnologie möglich ist.

Die Hauptprobleme der Produktion sind der hohe spezifische Leistungseintrag, der durch die hohe Viskosität des Mediums bedingt ist, und die großen Penicillinverluste bei der Aufarbeitung der Fermentationsbrühe, die durch die geringe Stabilität des Penicillins bei den geringen pH-Werten der Extraktion bedingt sind.

Man benötigte in der Industrie 4–5 kW/m<sup>3</sup>, um in das hochviskose Medium ausreichenden Sauerstoff einzutragen.

Bei der Aufarbeitung betrugen die Verluste etwa 15%.

Die Zielsetzung der Arbeit war, den spezifischen Leistungseintrag und die Verluste zu reduzieren.

### Reduzierung des spezifischen Leistungseintrags

Die hohe Viskosität des Mediums ist durch die langen verzweigten Hyphen bedingt, die relativ locker gepackt über den gesamten Raum miteinander verwoben und verknäult sind.

Bei Verwendung bestimmter Drehzahlen in der Vorkultur, Impfmenge und Substratkonzentration in der Hauptkultur kann eine Pelletsuspension erzeugt werden, die bis zu einem Sedimentgehalt von 40% eine geringe Viskosität aufweist. Die volumenbezogenen Stoffdurchgangskoeffizienten sind um einen Faktor 4 bis 5 höher als mit filamentösem Mycel.

Bei der Anwendung der Pelletsuspension ist es leicht, die notwendige Sauerstoffmenge ins Medium einzutragen.

Bei der Bildung der Pellets tritt jedoch ein zusätzlicher Stofftransportwiderstand auf. Bei der Auslegung dieses Systems muß man diese zusätzlichen Widerstände berücksichtigen.

Der Gesamtwiderstand setzt sich aus drei Teilen zusammen: der Widerstand an der Gas/Flüssigkeitsphasengrenze, der sich aus der Sauerstoffbilanz ermitteln läßt, der Widerstand in der Grenzschicht an der Pelletoberfläche, der sich aus bekannten Bezie-

hungen berechnen läßt, und der Widerstand im Pellet, der unbekannt ist. Dieser Widerstand wird jedoch zur Optimierung des Systems benötigt.

Mit Hilfe einer Mikrosauerstoffelektrode wurden die Gelöstsauerstoffkonzentrationsprofile in den Pellets in je 10 Mikrometer Abständen gemessen und daraus die Stofftransportwiderstände ermittelt. Sowohl diese Messungen als auch die histologischen Untersuchungen wiesen darauf hin, daß die Eindringtiefe des Sauerstoffs bei hohem Konzentrationsniveau im Medium 200 Mikrometer beträgt. Nur in dieser Schicht findet man metabolisch aktive Zellen. Die Zellen, die mit Sauerstoff nicht ausreichend versorgt werden, sterben ab und werden lysiert. Bei hohem Gelöstsauerstoffkonzentrationsniveau im Medium beträgt der optimale Pelletdurchmesser 400 Mikrometer. In größeren Pellets sterben die Zellen in der Pelletmitte ab. Dadurch vermindert sich die Produktivität. Bei kleineren Pellets steigt die Viskosität des Mediums, daher nimmt das Gelöstsauerstoffniveau im Medium ab, und die Produktivität vermindert sich ebenfalls. In Medien mit 1,2 mm Pelletdurchmesser beträgt die Produktivität nur 50% derjenigen, die mit 400 Mikrometer Pelletdurchmesser erzielt wird.

Mit optimierter Vorkultur, Mediumzusammensetzung und Prozeßführung gelang es, in der Hauptkultur eine Suspension mit mittleren Pelletdurchmessern von 400 Mikron zu erhalten. Dadurch ließ sich der spezifische Leistungseintrag in einem Technikkumsreaktor von 100 l auf einem Wert von  $0,8 \text{ kW/m}^3$  reduzieren.

Bei Anwendung von 4 Bioreaktoren mit je  $250 \text{ m}^3$  lassen sich dadurch erhebliche Energieeinsparungen erzielen.

### **Reduzierung der Verluste bei der Aufarbeitung**

Zur Isolierung des Penicillins werden die Zellen mit einer Drehtrommel abgetrennt und die zellfreie Fermentationsbrühe zuerst auf Null Grad gekühlt, dann mit Schwefelsäure angesäuert, und das Penicillin G mit n-Butylacetat in Zentrifugalextraktoren extrahiert. Penicillin G ist eine schwache Säure mit einem  $\text{pK}_s$ -Wert von 2,7. Man kann nur die undissoziierte Säure mit dem Lösungsmittel extrahieren. Daher muß die wäßrige Lösung auf pH 2 eingestellt werden. Bei diesem niedrigen pH-Wert ist das Penicillin sehr instabil. Trotz der niedrigen Temperatur und der kurzen Extraktionszeit treten Verluste in Höhe von 15–20% auf.

Man kann das Penicillin im neutralen pH-Bereich, in dem es stabil ist, mit einem Carrier extrahieren. Langkettige sekundäre Amine, die in der wäßrigen Phase unlöslich sind, bilden mit dem Penicillin Anion und mit dem Proton ein Ionenpaar, das nur in der organischen Phase löslich ist. Bei pH 5 erreicht man mit diesem Carrier, der in n-Butylacetat gelöst ist, einen sehr hohen Extraktionsgrad. Bei pH 7–7,5 läßt sich das Penicillin rückextrahieren, da bei diesem pH-Wert die Stabilität des Komplexes sehr gering ist. Somit kann die Extraktion und Rückextraktion im pH-Bereich 5 bis 7 erfolgen.

Dieses Konzept wurde in einer Laboratoriumskolonne von 4 m Höhe getestet. Hier konnten die Verluste von 15% auf 1% reduziert werden. Da es möglich war, die Stöchiometrie und die Kinetik der Reaktion zu ermitteln, konnte eine Pilotanlage von 8 m Höhe ausgelegt werden. Auch in dieser Anlage gab es nur geringe Verluste. Da

jedoch in der Praxis die Extraktion in Zentrifugalextraktoren erfolgt, war es notwendig, zu testen, ob sich die Carrier-Extraktion auch hier einsetzen läßt.

Die hervorragenden Ergebnisse ließen sich sowohl in Laboratorienextraktoren als auch in Pilot-Extraktoren wiederholen.

### **Integration der Produktbildung und -umsetzung**

Penicillin G wird nur in geringen Mengen in der Therapie verwendet. Der größte Teil des Produktes wird zur Herstellung von halbsynthetischen Penicillinen verwendet.

Ampicillin ist eines der wichtigsten halbsynthetischen Penicilline, das aus Penicillin in einer enzymatischen Umsetzung hergestellt wird. Das Herstellungsverfahren von Ampicillin aus 21 Schritten. Wir haben untersucht, ob sich die Zahl der Zwischenstufen durch Prozeßintegration reduzieren läßt.

Penicillin G wurde während seiner Bildung aus der zellfreien Fermentationsbrühe, die durch eine Ultrafiltrationsmembran aus dem Reaktor entnommen wurde, mit Hilfe der Flüssigmembrantechnik (wäßrige Emulsion in der Ölphase, die in dem zellfreien Fermentationsmedium dispergiert ist) extrahiert und gleichzeitig durch das Enzym Penicillin G-Amidase, das in der inneren wäßrigen Phase der Flüssigmembran immobilisiert ist, in APS, einem Zwischenprodukt der Biosynthese, und Phenylelessigsäure gespalten.

Phenylelessigsäure diffundiert in das Medium zurück und wurde zusammen mit dem penicillinfreien Medium in den Reaktor zurückgeführt. Die APS wurde nach Spaltung der Flüssigmembran freigesetzt und enzymatisch in Ampicillin umgesetzt. Durch Ersparen der Isolierung und der Reinigung des Penicillins vor seiner Umsetzung gelang es, die Zahl der Stufen bei der Produktion von 21 auf 7 zu reduzieren. Gleichzeitig ließen sich die Verluste während der Bildung von Penicillin G auf 1/3 vermindern.

Diese Beispiele zeigen, daß sich alte Produktionsverfahren in der Biotechnologie durch Anwendung neuer Erkenntnisse und Techniken wesentlich verbessern lassen.



## Ethische Aspekte moderner Naturwissenschaft und Technik

Von **Karl-Dietrich Gundermann**

Wenn ein von Haus aus Organischer Chemiker so ein Thema zum Gegenstand eines Vortrags vor einem Gremium „gestandener“ Fachleute aus anderen Naturwissenschafts-, ingenieurwissenschaftlichen und geisteswissenschaftlichen Disziplinen macht, so kann leicht der Verdacht bzw. die Meinung auftreten, jemand mache sich einer „Grenzüberschreitung“ schuldig. Die geisteswissenschaftlichen Kollegen mögen methodische Plumpheiten beklagen, dilettantisches Vorgehen kritisieren. Es ist ja jedem in dieser Welt ein bißchen Erfahrenen bekannt: das alte Schillersche Wort aus Wallensteins Tod „Leicht beieinander wohnen die Gedanken, doch hart im Raume stoßen sich die Sachen“ findet sinngemäße Anwendung gerade auf so einem Gebiet: es wird immer sozusagen im Brustton der Überzeugung auf die Notwendigkeit des Brückenschlags zwischen Natur- und Geisteswissenschaften hingewiesen – aber es wird sofort schwierig, wenn's ins Konkrete geht... Wer soll eigentlich diese Brücken schlagen? Der Naturwissenschaftler und Techniker? Da herrscht sehr oft das Vorurteil: der versteht ja nichts von Philosophie, beispielsweise; also im Volksmund: „Schuster, bleib bei deinem Leisten.“ Letzteres umgekehrt werden dann viele Naturwissenschaftler und Ingenieure wieder bei entsprechenden Versuchen von Geisteswissenschaftlern sagen wollen: was verstehen die von Naturwissenschaft? Allenfalls Ausnahmeerscheinungen wie C.F. VON WEIZSÄCKER würde man so eine „Grenzüberschreitungsrolle“ zubilligen. Genug: die derzeitige Situation, gekennzeichnet durch ein paar Stichworte wie Atomenergie, Gentechnik, Großforschung überhaupt, Computerentwicklung machen Kompetenzfragen zwar nicht überflüssig, aber sie zwingen einfach dazu, den Mut zu Grenzüberschreitungen aufzubringen.

Es kommt noch etwas recht Heikles dazu: die Zeit, wo etwa ein Naturwissenschaftler quasi Immunität genoß, scheint sich ihrem Ende zuzuneigen: dabei geht es nicht nur darum, daß irgendwelche „Grünen“ oder „Aussteiger“ ihre Dauerkritik anbringen, die als Grunddogma den naturwissenschaftlichen und technischen Fortschritt per se als „schlecht“, ja „böse“ ansehen.

Nein: in zunehmendem Maß scheint es notwendig zu sein, daß auch innerhalb der „scientific community“ selbst gewisse „Selbstverständlichkeiten“ wiederentdeckt werden, nämlich zum Beispiel die ganz primitive Wahrheit im Sinne der Beschreibung dessen, was man wirklich gesehen, gemessen hat... Wobei selbstverständlich der Irrtum als menschliche Möglichkeit mit zu sehen ist... Je komplizierter die Forschung, je aufwendiger, je mehr prestigebehaftet sie ist – desto größer wird die Versuchung des „corrigere la fortune“, wie nicht ich hier böse unterstelle, sondern wie die sich langsam anhäufenden Beispiele belegen... Etwa ein Artikel in C&EN [1] v. 20.02.89, S. 5 „Steps to strengthen research ethics urged“.

Möglicherweise finden Sie im folgenden Gedanken, die Ihnen selbstverständlich erscheinen. Wir, die wir ja alle u.a. unter dem Prinzip des Veröffentlichens stehen, sollten uns allerdings klar darüber sein, daß auch das anscheinend Selbstverständliche einmal ausgedrückt, sozusagen „veröffentlicht“ werden muß.

Zwei Tatsachen seien an den Anfang gestellt:

- 1) Bekanntlich gibt es inzwischen eine ganze Reihe von Problemen, die mit Naturwissenschaft und Technik zusammenhängen, die in der öffentlichen Diskussion (zumindest in dieser; wie weit der Einzelmensch echt betroffen ist, wollen wir zunächst dahingestellt sein lassen) kontrovers diskutiert werden, oft überwiegend mit negativem Akzent: ich nenne nur die Stichworte Kernenergie, Umweltschäden, Gentechnik.
- 2) Angesichts der eben genannten Probleme wird immer wieder von „ethischem Verhalten“ gesprochen. Wobei mit dem Begriff „Ethik“ ganz allgemein eine positive Assoziation verbunden ist, also etwas „Gutes“. Über diese Bedeutung „irgendwie gut“ kommt man jedoch i.allg. nicht hinaus.

Eine recht geläufige Definition von „Ethik“ ist: Moralphilosophie. Moral kommt bekanntlich von „mores“ = Sitten. Es ist also das Sittliche ins Auge gefaßt: das, was man darf und das, was man nicht darf. Befragt man die Lexika, beispielsweise die alt ehrwürdige „Encyclopedia Britannica“, der man getrost einen neutralen bis liberalen Standpunkt zuordnen darf, so findet man als Definition für „Ethik“: „Ethik ist ein Zweig der Philosophie, der befaßt ist mit dem, was moralisch gut oder schlecht, recht oder unrecht ist. Ein gleichbedeutendes Wort ist: Moralphilosophie“. Das Problem wird allerdings darin gesehen, so steht es in der erwähnten Encyclopedia Britannica, daß sich hier zwei grundsätzliche Auffassungen gegenüberstehen: 1) die sozusagen traditionelle Ethik – nach dieser gibt es von vornherein Normen, sozusagen „ewige Gesetze“ für das Moralisch-Richtige und -Falsche. Diese ewigen Gesetze aber bestehen auf der Grundlage, daß der Mensch Ebenbild Gottes ist, also auf religiöser Grundlage. (– Älteste europäische Ethik, weit vor dem Christentum ist die „Nikomachische Ethik“ des ARISTOTELES).

2) Die moderne Auffassung, die im Gegensatz zu der eben erwähnten **absoluten** eine ausgesprochen **relative** Auffassung von Ethik ist, besagt im Prinzip: die Philosophen, aber letztlich auch jeder denkende Mensch, haben hinsichtlich der Ethik lediglich die Aufgabe, festzustellen, welche Ethikvorstellungen es in der Welt gibt, diese bezüglich ihrer Bedeutung logisch zu analysieren (also zu sehen, ob sie in sich stimmig sind) und auch die Methoden zu untersuchen, wie moralische Urteile gestützt werden. Beispiele: Nützlichkeithetik, Glückseligkeits-Ethik (Eudämonistische-E.\*), Pflicht-Ethik (Kant: Kategorischer Imperativ!), Soziale Ethik (Umwelt).

Das Dilemma, in dem wir uns als moderne Naturwissenschaftler und Techniker befinden, ist nun dieses: mit jedem Fortschritt der Erkenntnis und des „Könnens“ wird immer drängender die Frage: dürfen wir das weiter betreiben oder dürfen wir es nicht?

\* Die Nikomachische Ethik kann z.B. als Eudämonistische Ethik bezeichnet werden.

Hier trete ich nicht etwa als ein Spätromantiker mit der Devise „Zurück zur Natur“ auf, sondern möchte nur darauf hinweisen: **jede** menschliche Errungenschaft, also auch die in Naturwissenschaft und Technik – ist ambivalent, hat also ihre zwei Gesichter: Plus und Minus müssen um so mehr gegeneinander abgewogen werden, je größer das Potential (sozusagen: der Wirkungsradius, die „Macht“) einer Entwicklung ist. Man kann das auch als ein Abwägen von Chancen und Risiken ausdrücken.

Was aber sind die Maßstäbe für das **richtige** Abwägen von Plus und Minus, von Chancen und Risiken. **Das ist** das eigentliche Gebiet der Ethik, und wie gesagt, hier ist für uns das Dilemma: **Absolutwerte werden heute vielfach nicht als Grundlage der Ethik akzeptiert.** Das **Relative ist aber auch nicht** für eine Grundlage brauchbar: es ist wie etwa mit der Rechtschreibung nach dem DUDEN: wenn es zehn Belegbeispiele für eine neue Schreibweise gibt, dann ist diese Schreibweise auch erlaubt.

Wir sollten uns hier darauf einigen: wir betrachten die ethischen Aspekte der modernen Naturwissenschaften und Technik (**ich möchte zu letzterer nur das Stichwort: Innovation herbeiziehen, das bekanntlich zur Zeit auch fast in den Rang eines Absolutwertes erhoben wird!**) unter den folgenden Prinzipien:

- ethische Maßstäbe der modernen Naturwissenschaft und Technik sollen darin gesehen werden, daß nichts erlaubt, also ethisch verantwortbar ist,
- was uns selbst in unserer einmaligen Qualität als Menschen,
- was unseren Mitmenschen,
- was den kommenden Generationen schadet.

Der Philosoph Hans JONAS, den ich im folgenden gelegentlich zu Rate ziehe, hat in seinem Buch „Das Prinzip Verantwortung“ [2] sehr klar darauf hingewiesen, daß gerade der letztgenannte Punkt: nämlich der Blick auf kommende Generationen, insofern etwas Neues auf dem ethischen Gebiet ist, als wir eben durch den naturwissenschaftlich-technischen Fortschritt **überhaupt erst** die konkrete **Macht** erhalten haben, massiv in die Zukunft zu wirken...

Bevor ich auf einige Beispiele eingehe, möchte ich doch auf eine uns allen, die wir ja Wissenschaftler sind, nur zu geläufige Tatsache hinweisen: nicht nur für den Nicht-Fachphilosophen, sondern für jeden Fachmann, welchen auch immer, besteht heute das Problem, daß er die jeweilige Riesenflut an Fachliteratur praktisch nicht mehr auch nur lesen kann. Und das Paradoxe ist: **wenn** er das könnte, dann käme er kaum zu wirklich eigenen Gedanken, denn er stünde immer in der Gefahr, erkennen zu müssen, wie vieles eben doch schon irgendwo irgendwann gedacht oder gefunden worden ist... (bekanntlich auch ein Problem der sozusagen „wissenschaftsinternen“ Ethik, solches immer zu zitieren...).

Wer sich mit Forschung befaßt, kennt dieses „Urerlebnis“, man liest und hört es immer wieder: „Wenn ich gewußt hätte, was es alles auf dem und dem Gebiet schon gibt, dann hätte ich mich gar nicht getraut, überhaupt anzufangen.“ Und es ist auch wieder eine alte Erfahrung: gerade **weil** man nicht wußte, was es alles schon gibt, hat man sozusagen unbeeindruckt ein paar eigene Gedanken gewagt, sozusagen ganz mit frischem Blick – und nicht selten kommt tatsächlich etwas Neues, Brauchbares dabei heraus.



Diese Feststellung ist nicht so trivial, wie vielleicht einige von Ihnen meinen: denken Sie daran, daß gerade diese eben geschilderte Erscheinung genau auf die Tatsache zutrifft, daß jede neue Generation nicht einfach die Erfahrung der Älteren übernimmt, sondern in vielen Dingen ganz von vorn anfängt, so, als ob vor ihnen noch niemand mit bestimmten Problemen zu tun gehabt hätte...

Nun zu den Beispielen:

Spätestens seit den immer stürmischeren Entwicklungen der Gentechnologie, aber eigentlich schon seit dem Beginn der Kernenergietechnik sind naturwissenschaftlicher und technischer Fortschritt **keine Selbstgänger** mehr. Dabei muß ganz klar hervorgehoben werden: was der Fortschritt auf allen Gebieten von Naturwissenschaft und Technik hervorgebracht hat, ist nicht nur bewunderungswürdig, hat nicht nur Einsichten in die Natur hervorgebracht, die noch vor 50 Jahren als völlig unvorstellbar angesehen worden wären – wir könnten ohne ihn nicht so leben, wie wir leben.

In der Forschungsarbeit ist schon selbst ein gewaltiges Beispiel für ethisches Verhalten realisiert: – angefangen vom Grundprinzip allen wissenschaftlichen Arbeitens, dem der absoluten Wahrhaftigkeit insbesondere bei der Veröffentlichung der jeweiligen Forschungsergebnisse bis zu der an asketische Vorläufer früherer Jahrhunderte (etwa von Mönchsorden) erinnernde Zuwendung an die Forschungsarbeit. Daran ändern die immer gegebene Möglichkeit des Irrtums oder weniger hochstehende Motive wie Ehrgeiz, Macht- oder Geldstreben nichts.

Aber mit dem immer gewaltigeren Zuwachs an naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und damit auch an technischen Möglichkeiten zeigten sich die immer gewaltigen Kehrseiten, die von direkten Umweltbelastungsproblemen bis zum menschlichen Selbstverständnis überhaupt reichen. Von den immer riesigeren Geldmitteln und sonstigen Ressourcen ganz zu schweigen, die – wie wir alle wissen – die Forschung praktisch aus der Sphäre des Privaten, sozusagen des „stillen Kämmerleins“ herausbewegt haben...

a) **Kernenergie.** Ein gewaltiger Machtzuwachs des Menschen, nicht etwa bloß hinsichtlich der Kernwaffen. Man denke an die zur Zeit geführte Diskussion über den Treibhauseffekt, also die fortschreitende Erwärmung unserer Atmosphäre. Kernenergie ergibt keine nennenswerte CO<sub>2</sub>-Emission, und die möglichen nichtfossilen Energiequellen sind nach aller Kenntnis noch lange nicht so weit, die nötigen Energiemengen zu liefern. Andererseits Tschernóbyl; weiter: die immer noch zur akzeptablen Lösungen anstehenden Probleme der Endlagerung der sog. „Atom Mülls“. **Überwiegt hier alles in allem das Plus** – oder ist die Anwendung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken ethisch nicht vertretbar? Schon jetzt läßt sich jedoch als unbedingte Forderung feststellen:

- Unbedingte Wahrhaftigkeit in der öffentlichen Unterrichtung d.h. keine Schönfärberei, kein Verschweigen wesentlicher Tatsachen, kein Zweckoptimismus.
- Angesichts der erheblichen Risiken der Kernenergie **restriktive** Haltung im Weiterausbau, vor allem sorgfältigste Maßstäbe bei den Energiebedarfsprognosen.

Sie sehen gerade an diesem Beispiel, wie etwa eine reine Nützlichkeitsethik ganz offensichtlich keine Grundlage für solche Entscheidungen sein kann: nach der Nütz-

lichkeit (die man wieder auf verschiedene Gesichtspunkte aufteilen könnte) würde man als Leitlinie etwa die Gewinnmaximierung ansehen!

Wie kompliziert die Gesamtlage gerade auf dem Gebiet der Kernenergienutzung ist, das geht aus zwei Tatsachen hervor:

1) Ohne einen Grundkonsens in der sog. Öffentlichkeit, ohne also ein Vertrauen der Nicht-Fachleute in die Fachleute wird die Kernenergie von den ersteren nicht akzeptiert; sie mögen sich noch so ehrlich, also ethisch motiviert, um das richtige Verhalten bemühen.

2) Wackersdorf – das vielumkämpfte – auf einmal durch die Atomwirtschaft selbst womöglich ad acta gelegt. Das würde auf Gorleben ähnlich passen.

Gibt es eine „Relativität“ der Ethik in folgendem Sinne: muß man sich Gedanken über die Zulässigkeit der friedlichen Atomenergienutzung in jedem Fall machen – auch wenn es sich herausstellen sollte, daß der „Realfall“ gar nicht eintritt? Hier in diesem speziellen Fall ist es etwas komplizierter: die Atomenergie **wird** ja schon angewandt – die Probleme bezüglich Atomunfälle **sind** bereits da. Wackersdorf und Gorleben sind ebenso wie Kalkar schon „Erweiterungsfälle“ des ethischen Bereichs.

- b) **Computertechnik.** Computer sind heute so selbstverständlich, daß einem die Frage sozusagen als Spinnerei vorkommen mag, was denn Computer mit Ethik zu tun haben. Sehen wir einmal von der „Hacker“-Affäre der letzten Tage ab; denken Sie nur an das Stichwort „artificial intelligence“. Könnte nicht mehr oder minder schnell die Maschine selbst das Individuellste des Menschen ersetzen, das was man „Geist“ nennt? Nun, jeder, der sich etwas intensiver mit Computern beschäftigt, weiß und wird der Formulierung zustimmen, die in einem Lehrbuch über das Programmieren steht [3]: „Beim näheren Hinsehen entpuppt sich ein Computer keinesfalls als ein hochintelligentes „Wesen“, sondern als ein technisches Gerät, das lediglich einfachste Operationen (etwa die vier Grundrechenarten und Zahlenvergleiche) durchführen kann. Dies geschieht allerdings mit atemberaubender Geschwindigkeit...“. „Soll also ein gestelltes Problem auf einem Computer gelöst werden, so kann dies nur mit einem Algorithmus (also einer Rechenvorschrift) geschehen, der aus den oben beschriebenen trivialen Einzelschritten besteht.“ Der ethische Aspekt liegt m.E. denn in der Tat auch **nicht** darin: dürfen wir uns mit artificial intelligence befassen, denn irgendwie wird sich der menschliche Geist in den komplizierten Algorithmen ohnehin genug bemerkbar machen. Sondern: durch die immer größere Möglichkeit der Vorausberechnung auch so komplizierter Dinge wie etwa langfristiger Wetterlagen scheint mir der Freiraum für das Spontane, Nicht-Vorausberechenbare immer enger zu werden. Die ethische Forderung daher hier: auch durch noch so computerisierte Tatsachen dürfen wir uns nicht bis zur Untätigkeit beeindrucken lassen.

Schon ist von der sog. Postmoderne die Rede – die Zeit der Punks und der „Aussteiger“ scheint ihrem Ende entgegenzugehen. Der Yuppie ist das Leitbild vieler jüngerer Menschen geworden – und zur „Lebensphilosophie“ des Yuppies

gehört u.a. eben gerade der Computer. Das läuft nach dem eben Gesagten auf eine Münchhausiade hinaus: sich am eigenen Zopf aus dem Sumpf ziehen.

Aus dem Bereich der **Elementarteilchen** möchte ich ein anderes Gebiet erwähnen, das zur Zeit „rein wissenschaftlich“ bearbeitet wird. Hier dringt bekanntlich nur dann und wann etwas in die Öffentlichkeit. Die für alle Fragen der Kernenergie typische sorgenvolle Einstellung (wie wir sie kennen) vieler Menschen ist bei den Berichten über Fortschritte in der Kernverschmelzung, oder bei der Suche nach neuen Elementarteilchen in den großen Beschleunigungsapparaturen (z.B. DESY, CERN) nicht zu bemerken. M. E. taucht hier ein anderes ethisches Problem auf: diese Hochenergie-Experimente verschlingen jährlich Milliardensummen, so daß sie oft gar nicht mehr von einem Staat finanziert werden können. Gewaltig ist der Einsatz von Spezialisten, apparativen Einrichtungen und Energien aller Art. Hier nun wieder die typische Situation: früher wäre der „Erkenntnisgewinn“ Selbstzweck – angesichts des erwähnten ungeheuren Mitteleinsatzes taucht das Problem auf: darf man diese gewaltigen Mittel für so eine Art von Experimenten einsetzen – angesichts der Tatsache, daß es riesige Hungerprobleme auf der Welt gibt?

Man braucht übrigens gar nicht so weit zu gehen. Vor einigen Jahren schon las ich in einer amerikanischen Zeitschrift (es war in der „Science“, so weit ich mich erinnere) über die sog. Megaloscience (man könnte dieses Wort einfach mit „Großforschung“ übersetzen). Damals wurde schon darauf hingewiesen, daß unter Umständen sehr große Forschungsprojekte etwa auf dem Gebiet der Teilchenbeschleuniger dazu führen könnten, daß nicht nur die Geldmittel, sondern auch eben die notwendigen Forschungskräfte durch solche Projekte derart festgelegt wurden, daß für die „normale“ Forschung nichts mehr oder jedenfalls nicht genügend Forschungskräfte übrigblieben...

Wie Sie wissen, ist eine analoge Situation bei sehr aufwendigen medizinischen Operationen wie etwa Herztransplantationen schon jetzt gegeben: wegen des noch immer enormen Aufwandes für eine solche Operation, von den Problemen mit Spenderherzen einmal ganz abgesehen, können womöglich „einfachere“ Herz- und andere -Operationen nicht mehr in gleicher Anzahl durchgeführt werden... Nochmals: hier liegen wirklich ethische Probleme vor: was dürfen wir – was dürfen wir unter Abwägung aller Chancen und Risiken, und was dürfen wir nicht?

Und auch hier wieder die „innerwissenschaftliche“ Ethik: Je gewaltiger die Mittel, das Prestige – desto größer der „Erfolgsdruck“. Man denke an das Beispiel aus neuester Zeit: die „kalte“ Kernfusion der Forscher PONS und FLEISCHMANN...

- c) **Gentechnologie.** Dies ist ein ganz besonders im Bereich der ethischen Fragen stehendes Gebiet, und zwar sowohl im engeren Sinne, also der Erforschung und gegebenenfalls Veränderung von Erbanlagen, also Genen, als auch in dem der oft damit zusammengefaßten Reproduktionsbiologie – für letztere nur das Stichwort: Retortenbabies, d.h. die sogenannte „Befruchtung im Reagenzglas“ (extrakorporale Fertilisation). Die beiden Gebiete überschneiden sich, vor allem auf dem Gebiet der sog. pränatalen Diagnostik, der Feststellung von Erbkrankheiten. z.B.

schon beim Embryo, denn dabei werden vor allem die Methoden angewandt, die die Gentechnologie entwickelt hat.

Bei der Gen-Erforschung selbst liegt m.E. ein zunächst jedenfalls rein naturwissenschaftliches Problem vor: man untersucht mit den Methoden der Molekularbiologie vor allem die DNA als die „Vererbungsmatrize“.

Ethische Aspekte gibt es selbstredend wieder **schon innerhalb dieses rein naturwissenschaftlichen Bereichs**: bei dieser hochkomplizierten, mit **großem Prestige** behafteten Forschung muß sehr auf die scheinbar selbstverständliche Forderung der absoluten Wahrhaftigkeit der Ergebnis-Darstellung z.B. bestanden werden. Glauben Sie nicht, daß ich das bloß so daherrede: man ist zur Zeit z.B. in den USA, wo die gentechnologische Forschung außerordentlich hoch rangiert, dabei, sich Richtlinien gegen den wissenschaftlichen Betrug zu überlegen.

Über die wissenschaftliche Gemeinschaft („scientific community“), die erfahrungsgemäß Vorstöße gegen wissenschaftliche Prinzipien mehr oder minder schnell selbst ahndet, hinaus geht es jedoch, wenn die zur Zeit wohl größte gentechnische Problematik ins Auge gefaßt wird: die Aufklärung des menschlichen Gesamt-Genoms, der Schaffung sozusagen eines Atlas sämtlicher menschlicher Erbanlagen. Natürlich liegen schon längst detaillierte Planungen vor: man hat recht zuverlässige Schätzungen über benötigte Gelder, Forscherzahlen, voraussichtliche Dauer. Darf man neben anderen Problemen, angesichts der akuten Notstände aller Art jetzt und hier auf der Erde so gewaltige Mittel festlegen?

Friedrich DÜRRENMATT sagte vor kurzem über die berühmte 1. Mondlandung am 20./21. Juli 1969: „Am 20. Juli 1969 begann nicht ein neues Zeitalter, sondern der Versuch, sich aus dem unbewältigten 20. Jahrhundert wegzustehlen. ... Es ist leichter, auf den Mond zu fliegen, als mit andern Rassen friedlich zusammenzuleben, leichter als eine wirkliche Demokratie und einen wirklichen Sozialismus durchzuführen, leichter als den Hunger und die Unwissenheit zu besiegen...“.

Zurück zur Gentechnik. Mit ihrer Methodik können wir schon heute solche Stoffe wie **Insulin** (das Zuckerkranken fehlt) **herstellen, den** für die Blutgerinnung wesentlichen sog. **Faktor VIII** (er ist bisher nur aus menschlichen Blutkonserven gewonnen worden; hier ist direkt das AIDS-Problem berührt), **den wiederum für die Auflösung von Blutgerinnseln** – vor allem bei Herzinfarkten – benötigten Plasminogen-Aktivator **tPA** und viele andere biologisch wesentliche Stoffe. Auf der einen Seite: unglaubliche Fortschritte mittels der mit Fug und Recht als einfach genial zu nennenden Methodik der Rekombination von DNA. Bei der eingangs erwähnten Plus-Minus-Abschätzung aber: das beim Herzinfarkt so wohlthätige tPA (dies nicht allein\*; aber eben gentechnisch hergestellt) löst leider nicht nur die Infarktgerinnsel auf, sondern hemmt die Blutgerinnung zumindest bei einem bestimmten Prozentsatz von Menschen an Stellen, wo es geradezu auf sie ankommt: Blutungen z.B. im Gehirn können die Folge sein. Ich kann aus Zeitgründen nicht

\* Die **nicht** gentechnisch gewonnene Streptokinase wird ebenfalls zur Auflösung von Infarkt-Gerinnseln eingesetzt. Sie hat die gleichen Probleme der „Nebenwirkungen“ wie tPA.

auf die von einigen Forschern ganz **allgemein gesehenen** Gefahren der recombinant DNA-Methodik eingehen.

Ethische Fragen im Sinne unserer vorhin getroffenen Definition des Ethischen: was **ist** hier nun wirklich schädlich und daher nicht ethisch vertretbar – und was nicht? Mit den Methoden, die bei der Auffindung, Charakterisierung, ja, der chemischen Synthese von Genen benutzt werden, kann man heute auch die pränatale, also die vorgeburtliche, Diagnose durchführen, indem man beispielsweise das Fruchtwasser des werdenden Menschen analysiert. Es lassen sich so genetische Schäden, etwa die Anlage zu der schweren Geisteskrankheit Veitstanz (Chorea Huntington) feststellen.

Ethische Frage: Darf ein solches werdendes Menschenleben, von dem man weiß, es werde nach aller wissenschaftlicher Voraussicht mit schweren Schäden zur Welt kommen – darf es durch Abtreibung getötet werden, also gar nicht erst zur Welt kommen? Sie sehen hier sicher die Nähe der Problematik des §218!

Und damit kommen wir zur Reproduktionsbiologie: damit ein „Retortenbaby“ erzeugt werden kann, muß die in Betracht kommende Frau in der Weise hormonell behandelt werden, daß sie zum gleichen Zeitpunkt nicht nur ein Ei (wie es der Normalfall ist), sondern mehrere reife Eizellen produziert. Beim jetzigen experimentellen Stand befruchtet somit der männliche Samen „in der Retorte“ gleichzeitig mehrere weibliche Zellen – es entstehen daher mehrere Zygoten (befruchtete Eizellen). Eine davon wird in die Gebärmutter eingepflanzt, die „überzähligen“ tiefgefroren, zunächst als Reserve für den Fall, daß die erste Einpflanzung nicht zum Erfolg geführt hat. Die anderen werden dann verworfen oder zum Experimentieren freigegeben.

Und da sehen Sie einen ganzen Komplex von ethischen Problemen: von der auch heute noch heiß umstrittenen Frage, **wann** denn das menschliche Leben beginnt (Stichwort: Fristenlösung) bis zur Manipulation in der Keimbahn, ja bis zur Herstellung identischer Menschenkopien im Sinne des „Klonens“ – ich kann leider auf diese Dinge hier nicht weiter eingehen. Bisher kann man Menschen noch nicht klonen, wenn dies auch für Rinder, von niedrigen Tieren und Pflanzen ganz abgesehen, schon gelungen sein soll. Hier taucht ein ethischer Aspekt auf, den wir noch nicht direkt ins Auge gefaßt haben: dürfen wir etwas **wollen**, was wir **noch nicht können**?

Dieses Stichwort: dürfen wir wollen, was wir **noch nicht können**, ruft automatisch eine Frage hervor, die uns als Wissenschaftler und Forscher ganz besonders angeht: **wenn** es ethisch nicht verantwortbar ist, bestimmte Forschungsziele zu verfolgen: läuft das auf Eingriffe in die Freiheit der Forschung hinaus? Wie steht es überhaupt mit der Wünschbarkeit, ja Notwendigkeit weiteren Fortschritts in Forschung und Technik?

Die letztere Frage ist m.E. etwas leichter zu beantworten als die erste. Denn: viele der eben durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt erzeugten Probleme können nach aller Wahrscheinlichkeit nur durch weitere Forschung beseitigt oder gebessert werden. Hans JONAS [4] sagt dazu: „Die Dialektik eines Fortschritts, der zur Lösung

der von ihm selbst geschaffenen Probleme neue schaffen muß, also eigener Zwang wird, ist ein Kernproblem der ... Ethik der Zukunftsverantwortung“.

Etwas theoretischer führt Jonas [5] aus: „denn so, wie die Unternehmungen, deren späte Folgen wir durch Extrapolation erkennen sollen, nur durch Wissenschaft möglich sind, so erfordert auch diese Extrapolation mindestens denselben Grad von Wissenschaft, wie er in jenen Unternehmungen selbst am Werke ist. Tatsächlich fordert sie jedoch einen höheren. Denn das, was für die Nahprognose ausreicht, mit der die betreffenden Werke der technischen Zivilisation jeweils unternommen werden, das kann grundsätzlich nicht ausreichen für die Fernprognose, die in der ethisch geforderten Extrapolation angestrebt ist. Die Sicherheit, die die eine hat und ohne welche das ganze technologische Unternehmen gar nicht funktionieren könnte, ist der andern auf immer versagt. Die Gründe hierfür brauchen wir nicht auszuführen; genannt seien nur die jeder (auch der elektronischen) Rechenkunst spottende Komplexität gesellschaftlicher und biosphärischer Wirkungsganzheit; die wesenhafte, stets mit Überraschungen aufwartende Unergründlichkeit des Menschen; und die Unvorhersagbarkeit, das heißt Nicht-Vorerfindbarkeit, künftiger Erfindungen. ... Jedenfalls verlangt die geforderte Extrapolation einen größenordnungsgemäß höheren Grad von Wissenschaft, als er im technologischen Extrapolandum schon da ist; und da dies jeweils das Optimum vorhandener Wissenschaft darstellt, so ist das Wissen notwendig immer ein derzeit noch nicht und als Vorwissen überhaupt nie, erst der Rückschau verfügbares Wissen.“

Der zweite Punkt: Eingriff in die Freiheit der Forschung ist wie gesagt schwerer zu beantworten. Selbstverständlich ist hier **nicht** ins Auge gefaßt etwa der Eingriff staatlicher Ideologien – ich erinnere nur an den Fall LYSENKO vor einigen Jahren in der Sowjetunion. Oder ähnliche Vorgänge auch bei uns in der NS-Zeit. Sondern man muß im Auge haben: sobald Forschung aus der reinen Theorie in die Praxis der Anwendung kommt – und wir alle wissen, daß gerade der Gesichtspunkt: „Was kann man damit machen?“ etwa beim Antragswesen eine – ich will einmal vorsichtig sagen – sehr wichtige Rolle spielt, – dann stößt sie, wie **alles** menschliche Handeln auf die Grenzen der Verantwortung, der Gesetze, der sog. gesellschaftlichen Rücksichten.

Zum Ende unserer Betrachtungen kommen wir gerade an diesem Punkt wieder zur Frage: was können denn nun die Grundlagen der Ethik sein?

Man kann wie eingangs gesagt in unserer pluralistischen Gesellschaft nicht mehr die „ewigen Werte“ im Sinne christlicher Denkweise als allgemein anerkannt voraussetzen. Also keine „absolute“ Plattform benutzen. Wenn, so etwa HANS SCHAEFER in seinem Buch „Medizinische Ethik“ [6], diese „ewigen Werte“ als Leerformel gesehen werden, wenn Ethik fußt auf einem gesellschaftlichen Konsens, dann ist es wie mit der Rechtschreibung im „DUDEN“: dort wird wie erwähnt ja auch jede „neue“ Schreibweise zugelassen, wenn es dafür mindestens 10 Belegbeispiele gibt. Und mir scheint daher das Problem eben etwa der Gentechnik, der Embryonenforschung usw. darin zu liegen, daß man nicht mehr „absolute“ Wertungen zugrunde legt, sondern „relative“. SCHAEFER weist m.E. mit Recht darauf hin, daß z.B. „Menschenwürde“ ein nicht definierter Begriff ist. Das Problem also: wir wollen feste Grundlagen haben für das,

was wir dürfen und was wir nicht dürfen. Diese Grundlagen sind offenkundig nicht gegeben durch das reine Vermögen („Können“).

Nicht zuletzt sind diese Grundlagen dadurch nicht durch unser Können gegeben, weil dieses Können ja keine statische Angelegenheit ist, sondern sich – und zwar in vielen Fällen sehr schnell – ändert, nicht nur im Sinne des Wachsens, sondern durchaus auch des Abnehmens (ich erwähne nur etwa die durch das immer schnellere Lebens-tempo immer mehr abnehmende Fähigkeit zu echter Muße und Entspannung).

Die immer weiter wachsende Komplexität der uns umgebenden Welt, die immer deutlichere Unmöglichkeit für den Einzelnen, sich wirklich fundierte Kenntnisse von allen wichtigen Dingen zu verschaffen, muß gerade dazu führen, daß der eine dies, der andere das als Basis für seine ethischen Entscheidungen nimmt. . .

Ja – der Gedanke liegt natürlich nahe: die Ihnen kurz dargelegten riesigen Weiterentwicklungen von Naturwissenschaft und Technik – können **sie** nicht eben auch Quelle der ethischen Handlungsanweisungen sein? Ich habe ja am Anfang des Vortrages schon darauf hingewiesen, daß es eine wissenschaftliche Ethik bereits gibt. Der Freiburger Biologe Hans MOHR hat 1967 einen Katalog solcher von der Wissenschaft „ausstrahlenden“ ethischen Forderungen [7] aufgestellt und gefordert, diese ethischen Forderungen sollten nicht nur für die Wissenschaft, sondern für alles menschliche Handeln verbindlich werden.

Folgende Punkte hat er aufgestellt:

Gegenseitige Achtung – Objektivität – Freiheit des Denkes – Verzicht auf Dogmatismus – absolute intellektuelle Ehrlichkeit – Dominanz der geistigen (gegenüber ungeistiger, z.B. machtpolitischer) Aktivität – Klarheit der Ausdrucksweise.

Problem hier: bei dem riesigen Umfang der Wissenschaft muß **doch** das Gewissen dann den Ausschlag geben. In einer Zeit des immer schwächer werdenden Gewissens „wird dann freilich die wissenschaftliche Begründung von Handlungsmaximen degradiert zu einer Wissenschaft von der Technik des Erreichbaren. . . ohne Ansehung seiner sittlichen Qualitäten oder gar seiner moralischen Zulässigkeit“ „Wissenschaft schützt uns also nicht vor ethischen Entgleisungen, also vor unsittlichem Handeln, sie begünstigt es geradezu, sobald hinter ihren Einsichten nicht mehr ein sittlicher Wille die treibende Kraft ist“. (Hans SCHAEFER) [8].

Seit Max WEBER gibt es das Postulat der **wertfreien Forschung** (1968). Seine Formulierung: „Die Unmöglichkeit wissenschaftlicher Vertretung von praktischen Stellungnahmen („Handlungsanweisungen“) – außer im Falle der Erörterung der Mittel für einen fest gegebenen vorausgesetzten Zweck – folgt aus weit tiefer liegenden Gründen. Sie ist prinzipiell deshalb sinnlos, weil die verschiedenen Wertordnungen in der Welt in unlöslichem Kampf untereinander stehen –“.

Der bekannte Philosoph R. CARNAP hat bereits 1935 in seinem Buch „Philosophy and Logical Syntax“ ausgeführt, daß eine Argumentation sittlicher Normen notwendig irrationalen (also eben nicht wissenschaftlichen) Charakter habe, weil sie sich zwangsläufig auf gruppenrelative Weltanschauungen und subjektive Wertungen stütze. Eine wertende Stellungnahme könne wohl Wirkungen auf das Handeln des Menschen auslösen, sie könne jedoch weder wahr noch falsch sein (im wissenschaftlichen Sinne).

Der bekannte kath. Moraltheologe F. BÖCKLE [9] (Fundamentalmoral, S. 21) weist auf die heutigen Versuche hin, eine Methode des vernünftigen Argumentierens für konkrete Zielsetzungen und entsprechende Handlungsweisen zu schaffen: man verlangt nach objektiver oder besser „transsubjektiver“ Geltung bestimmter Werturteile. In einem offenen Dialog des „good reasons approach“ wird das Für und Wider für die eine und die andere Handlungsweise beraten. BÖCKLE sieht diese Methode des moralischen Argumentierens als ein Modell für rationale Problemlösungen an. Diese erscheint für Lösungsmöglichkeiten der riesigen Probleme der Menschheit (Hunger, partielle Überbevölkerung, Umweltfragen) am ehesten zu Konsensbildung möglichst vieler Menschen und damit Lösungschancen zu bringen. Bevor aber eine solche handlungsbezogene Abwägung erfolgen kann, muß aber die Einsicht in die Bedeutung der Güter und Werte geklärt sein...

Das Thema meines Vortrags hieß: Ethische Aspekte moderner Naturwissenschaften und Technik. Angesichts der ungeheuren Komplexität dieser Thematik – die wie wir sahen schon beim Ethikbegriff selbst beginnt – glaube ich, und möglicherweise auch jemand philosophisch Kompetenterer als ich, nicht mehr leisten zu können als die Situation sehr umrißhaft zu skizzieren. Und, so unbefriedigend das ist: eine Antwort auf die Frage, was denn nun der Einzelne, jeder von uns in seinem Bereich, **tun** könnte, kann ich nicht bieten

Zum Schluß eine Äußerung des ausgesprochenen Fachmanns Ernst-L. WINNACKER: (S. 393 und 394 aus WINNACKER „Gene und Klone“:) [10] Besonders S. 394: „... das Klonieren dem Menschen seine Individualität nimmt. Es handelt sich um einen Vorgriff auf die Zukunft, **deren Ungewißheit bzw. das Bewußtsein von deren Ungewißheit den Menschen ausmacht und ihn vor allen Lebewesen dieser Welt auszeichnet. ... Dennoch wird es (das Klonieren) vermutlich einmal gemacht werden. Es ist wichtig, daß wir uns alle der Verantwortung nicht entziehen, über diese Frage nachzudenken und uns darauf vorbereiten, wie wir selbst zu derartigen Experimenten stehen.**

### Literatur

- [1] Chemistry and Engineering News, 20.02.1989, S. 5
- [2] H. JONAS, Das Prinzip Verantwortung, Suhrkamp-Taschenbuch 1085 (1988)
- [3] E. KAUCHER, R. KLATTE u. Ch. ULRICH, Einstieg in Basic, B.I. Hochschultaschenbücher, Bd. 618 (1984), S. 22
- [4] H. JONAS, in 2), S. 323
- [5] H. JONAS, in 2), S. 66
- [6] H. SCHAEFER, Medizinische Ethik, Verlag f. Medizin Dr. E. Fischer, Heidelberg 1983, S. 15
- [7] vgl. 6), S. 18
- [8] vgl. 6), S. 19
- [9] F. BÖCKLE, Fundamentalmoral, Kösel-Verlag, München, 4. Aufl. 1985
- [10] E.L. WINNACKER, Gene und Klone, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1. Aufl. 1985/1984





## Was ist Mathematik

(Zusammenfassung)

Von Hanns Joachim Weinert

*„Nihil certi habemus in scientia nostra nisi mathematicam.“*

N. Cusanus (1401–1464)

*„Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen,  
sind sie nicht sicher, und sofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf  
die Wirklichkeit.“*

A. Einstein (1879–1955)

Natürlich wollte der Verfasser auf die Frage: „Was ist Mathematik?“ keine definitive oder gar allgemein akzeptierte Antwort geben. Vielmehr ging es ihm darum, aus seiner Sicht gewisse Grundzüge der Mathematik in ihrer historischen Entwicklung darzustellen und dabei herauszuarbeiten, welche Rolle die jeweiligen Auffassungen über die Mathematik in der Geschichte der Philosophie gespielt haben.

### 1. Mathematik als verallgemeinerte Erfahrung und als deduktives System

Sicher entstanden die ersten mathematischen Erkenntnisse als induktiv verallgemeinerte Erfahrungen und wurden als Aussagen über den uns umgebenden „real existierenden“ Raum oder über das rechnende Umgehen mit konkreten Gegenständen interpretiert. So hat der Verfasser als Schüler erlebt, daß der Satz über die Winkelsumme eines Dreiecks dadurch „begründet“ wurde, daß alle Mitschüler beliebige Dreiecke zeichneten und die jeweils von ihnen ermittelten Maße ihrer Winkel addiert wurden. An diesem Beispiel läßt sich leicht zeigen, daß sich dieser Satz eigentlich auf aus der Erfahrung abstrahierte Begriffsbildungen bezieht, die sich gar nicht so leicht präzisieren lassen. Auch macht der aus ihm rein logisch abgeleitete Satz über die Winkelsumme eines Vierecks deutlich, daß man aus bereits vorliegenden mathematischen Aussagen andere mathematische Aussagen als logische Folgerungen beweisen kann. Thales von Milet (um 600 v. Chr.) hat als erster solche Beweise geführt, und die Kraft dieser neuen Weise des Denkens hat die Griechen befähigt, in wenigen Jahrhunderten eine Fülle mathematischen Wissens zu schaffen. Die bewundernswerten Elemente von Euklid (um 300 v. Chr.) enthalten dann auch bereits große Teile der bis ins 15. Jahrhundert bekannten Mathematik, und zwar als ein deduktives System, d.h. rein logisch erschlossen aus wenigen, allgemein akzeptierten Grundbegriffen und Grundaussagen. Dieser Würdigung tut es keinen Abbruch, daß Euklid die Aufzählung der in seinen Beweisen verwendeten Grundaussagen nicht vollständig gelungen ist und daß insbesondere seine Definition der geometrischen Grundbegriffe nur als Anleitungen zu interpretieren sind, diese Begriffe aus unseren räumlichen Erfahrungen durch

Abstraktion zu gewinnen. Denn letzten Endes bezogen sich die abstrakten Sätze der Geometrie doch – so glaubte man jedenfalls – auf den uns umgebenden Raum unserer täglichen Erfahrung.

So schienen es trotz dieser Mängel fast 2 000 Jahre lang klar, daß die Menschheit ein erstes Gebiet realen Wissens etabliert hatte, welches absolut sicher und über jeden Zweifel erhaben war. Das hatte eine kaum zu überschätzende geistesgeschichtliche Wirkung, die jedoch in dieser Zusammenfassung nur angedeutet werden kann. Insbesondere waren die Philosophen der beginnenden Neuzeit, angefangen mit Descartes (1596–1650), davon überzeugt, daß Euklids Elemente den einzig möglichen Weg wiesen, um zu sicherem Wissen zu gelangen – auch über methaphysische Fragen, wie die Existenz und Natur Gottes, die Unsterblichkeit der Seele und die Freiheit des Willens. Ja selbst die kritische Philosophie Immanuel Kants (1724–1804) beruht auf dieser Interpretation von Mathematik.

## 2. Die Entdeckung nicht-euklidischer Geometrien

Die problematischste Grundaussage Euklids ist das sogenannte Parallelen-Postulat, welches sich schon durch seine komplizierte Formulierung von allen anderen Grundaussagen unterscheidet und kaum als sofort einsichtige Abstraktion aus dem uns umgebenden Raum angesehen werden kann. So war jahrhundertlang versucht worden, dieses Postulat aus den anderen Grundaussagen Euklids logisch abzuleiten und damit überflüssig zu machen. Die Entdeckung nicht-euklidischer Geometrien durch C. F. Gauss (1777–1855), J. Bolyai (1802–1860), N. I. Lobatschewski (1793–1856) und F. B. Riemann (1826–1866) zeigte nun, daß man in Euklids System das Parallelen-Postulat durch jeweils ein anderes ersetzen kann und so zwei weitere „mathematische Geometrien“ neben der Euklids erhält. Diese drei Geometrien lassen sich auch dadurch kennzeichnen, daß die Winkelsumme jedes Dreiecks einmal echt kleiner, einmal gleich und einmal echt größer als zwei rechte Winkel ist, wobei die Abweichungen im ersten und dritten Fall mit der Größe des Dreiecks wachsen. Damit wurden diese drei mathematischen Systeme zu in sich konsistenten abstrakten Denkstrukturen, und es entstand die Frage, welche von ihnen dem uns umgebenden Raum entspricht. Gauss versuchte, diese Frage im Rahmen der von ihm geleiteten Landvermessungen zu beantworten. Das verwendete Dreieck (Brocken, Inselsberg, Hoher Hagen) erwies sich jedoch als zu klein, um im Rahmen möglicher Meßgenauigkeiten eine der oben genannten Abweichungen festzustellen oder auszuschließen.

Damit ergibt sich eine völlig neue Situation: Geometrische Grundbegriffe und Grundaussagen, von denen man über 2 000 Jahre angenommen hatte, daß sie Abstraktionen eines einzigen, uns gegebenen wirklichen Raumes wären, konnten auf drei verschiedene Weisen interpretiert werden, und man konnte nicht entscheiden, welche dieser Interpretationen der Wirklichkeit entspricht. Erst damit werden die von Euclid verwendeten Grundlagen, unabhängig von allen Mängeln im Detail, wirklich fraglich. Andererseits braucht man Grundbegriffe und Grundaussagen am Anfang jeder Deduktion. Eine Antwort auf das damit angedeutete Problem wurde von D. Hilbert (Grund-

lagen der Geometrie, Leipzig 1899) gegeben, womit eine neue Auffassung von Mathematik einsetzt.

### 3. Mathematik als Gebäude formaler Theorien

Der Aufbau einer formalen mathematischen Theorie wurde an einem einfachen Beispiel erläutert. Man betrachtet verschiedene Sorten von Variablen, etwa  $P, Q, \dots$  und  $g, h, \dots$  (die z.B. „Punkte“ bzw. „Geraden“ genannt werden können) und gewisse formal zu notierende Relationen zwischen solchen Variablen, etwa  $P|g$  (wofür man sagen kann, daß „der Punkt  $P$  auf der Geraden  $g$  liegt“). Sodann werden eine Reihe von Axiomen formuliert, wie z.B.  $\forall g \exists P, Q (P \neq Q \wedge P|g \wedge Q|g)$  (wofür man sagen kann, daß „auf jeder Geraden  $g$  wenigstens zwei verschiedene Punkte  $P$  und  $Q$  liegen“). Dabei entsprechen die Variablen und Relationen einer formalen Theorie den Grundbegriffen in Euklids System und die Axiome den Grundaussagen. Jedoch haben in einer formalen Theorie die Variablen und Relationen (trotz der in Klammern angegebenen Sprechweisen) keinerlei inhaltliche Bedeutung. Vielmehr „weiß“ man von ihnen nichts weiter, als daß sie den Axiomen der gerade betrachteten Theorie genügen. Darauf aufbauend lassen sich schrittweise weitere Aussagen, die Sätze dieser Theorie, rein logisch deduzieren, wobei natürlich auch die jeweils erlaubten logischen Schlußregeln formal festzulegen sind. Zur Vereinfachung der Schreib- und Sprechweise können dabei auch „echte“ Definitionen verwendet werden, z.B. daß  $g||h$  als Abkürzung für  $\forall P (P|g \wedge P|h) \Rightarrow g = h$  gebraucht wird (wofür man sagen kann, daß „Geraden  $g$  und  $h$  parallel genannt werden, wenn sie entweder zusammenfallen oder keinen gemeinsamen Punkt haben“).

Auf diese Weise wurde im Vortrag eine formale Theorie mit den obigen Variablen, einer Relation  $P|g$  und vier Axiomen vorgestellt, welche die formale Theorie der affinen Ebenen genannt wird. Solche Theorien lassen sich dann auf meist sehr verschiedene Fälle, die sogenannten Modelle dieser Theorie, anwenden. Wann immer eine (konkrete oder abstrakte) Situation vorliegt, welche den Variablen oder Relationen einer formalen Theorie so entspricht, daß alle ihre Axiome erfüllt sind, dann gelten auch alle Sätze dieser Theorie in dieser Situation, ohne daß man sie immer wieder erneut abzuleiten brauchte. In diesem Sinne kann eine formale Theorie als ein Vorrat von Resultaten angesehen werden, die in jedem passenden Fall, d.h. eben in jedem ihrer Modelle, anwendbar sind. Der Mathematiker, der eine solche Theorie aufstellt, wird dabei meist ihre verschiedenen möglichen Modelle gar nicht überblicken können. Insbesondere können solche Modelle erst im Zusammenhang mit zukünftigen Anwendungen auftreten, von denen man beim Aufstellen dieser Theorie noch gar nichts wissen konnte. So ist z.B. jede in der euklidischen Geometrie auftretende Ebene ein Modell der formalen Theorie der affinen Ebenen — womit allerdings über euklidische Ebenen noch sehr wenig gesagt ist. Es gibt aber auch Modelle, die nur endlich viele „Punkte“ und „Geraden“ enthalten (etwa solche mit 4 Punkten und 6 Geraden oder mit 9 Punkten und 12 Geraden), und solche endlichen Modelle finden Anwendung z.B. bei der Organisation komplizierter Versuchsanordnungen oder bei der Verschlüsselung von Nachrichten.

#### 4. Hypothetischer Realismus und evolutionäre Erkenntnistheorie

Es ist oft gesagt worden, daß ein mit formalen Theorien umgehender Mathematiker „gar nicht weiß, wovon er eigentlich spricht“. Dem ist zuzustimmen — handelt es sich dabei doch einfach um den Preis, der für die universelle Anwendbarkeit einer formalen Theorie auf alle ihre Modelle zu zahlen ist. Schwieriger ist das Problem, wie sicher die Sätze solcher mathematischer Theorien sind, wenn sie auf die „Wirklichkeit“ bezogen, also auf ein Modell in der „realen Welt“ angewendet werden. Hier häufen sich die Fragen: Was ist eigentlich die „Wirklichkeit“ oder die „reale Welt“ oder der schon eingangs verwendete „reale Raum“? Wie überprüft man, ob oder wie weit irgendwelche alltäglichen oder wissenschaftlichen Aussagen über diese Wirklichkeit zutreffen? Und nicht zuletzt: Selbst wenn man sicher wäre, daß ein realer Zusammenhang, aufgefaßt als Modell einer formalen mathematischen Theorie, alle Axiome dieser Theorie erfüllt, woher oder wie sicher weiß man, daß dann auch die innerhalb der Theorie rein logisch abgeleiteten Sätze auf diesen realen Zusammenhang zutreffen? Mit anderen Worten: Woher oder wie sicher weiß man, daß unsere Denk- und Erkenntnisstrukturen zum adäquaten Erfassen der Realität geeignet sind? Und wie weit gilt dies auch dann noch, wenn wir den Bereich der unserer biologischen Existenz entsprechenden Umwelt verlassen und z.B. Kernphysik oder Kosmologie treiben?

Es ist die Überzeugung des Verfassers, daß die oben genannten philosophischen Auffassungen der einzige Schlüssel zu wenigstens einigermaßen befriedigenden Antworten auf diese Frage sind, und daß eine relative Sicherheit unserer wissenschaftlichen Erkenntnis nicht zuletzt auf der Anwendung mathematischer Theorien im Erkenntnisprozeß beruht. Doch bitte er um Verständnis dafür, daß die diesbezüglichen Ausführungen des Vortrages in schriftlicher Ausarbeitung zu umfangreich würden und so nicht im Rahmen dieser Zusammenfassung dargestellt werden können. (Für eine gut lesbare und instruktive Einführung in die genannten philosophischen Theorien sei verwiesen auf: G. Vollmer, Evolutionäre Erkenntnistheorie, S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1980.)

## **Atmosphärischer Treibhauseffekt und Ozonabbau Die Suche nach alternativen Arbeitsstoffen für die Kältetechnik**

### **Zusammenfassung**

Von **Hans Dieter Baehr**

Durch menschliche Aktivitäten gelangen Spurengase, die Wärmestrahlung absorbieren und emittieren, in zunehmendem Maße in die Atmosphäre. Hierzu gehören neben CO<sub>2</sub> und Methan auch die voll halogenierten Kohlenwasserstoffe, die als Arbeitsstoffe in Kälteanlagen und bei der Herstellung hochwertiger Wärme- und Kälteisolierungen verwendet werden. Man befürchtet, daß diese Gase in den nächsten Jahrzehnten zu einer zusätzlichen Erwärmung der Erde mit schwerwiegenden Klimaänderungen führen. Die auch unter der Abkürzung FCKW bekannten halogenierten Kohlenwasserstoffe bewirken außerdem einen Abbau des stratosphärischen Ozon durch das in ihnen enthaltene Chlor. Ozonabbau hat eine verstärkte UV-Strahlung an der Erdoberfläche zur Folge. Durch nationale Regelungen und internationale Vereinbarungen (Montreal-Protokoll) wird ein Verbot von Herstellung und Anwendung der FCKW in naher Zukunft angestrebt.

Für den Betrieb von Kälte- und Klimaanlageanlagen müssen neue Arbeitsstoffe gefunden werden, die atmosphärisch unbedenklich sind. Sie sollen außerdem ungiftig, nicht brennbar sowie thermisch und chemisch hinreichend stabil sein. Schließlich müssen sie gute thermodynamische Eigenschaften aufweisen, damit der Betrieb der Kälte- und Klimaanlageanlagen mit einem neuen Arbeitsmedium auch energetisch günstig ist. Das Auffinden neuer Arbeitsstoffe und ihr Test hinsichtlich der genannten Eigenschaften ist ein Prozeß, der mehrere Jahre dauert. Ist ein neuer geeigneter Stoff gefunden, so müssen ihm angepaßte Kälte- und Klimaanlageanlagen mit ihren Komponenten entworfen und erprobt werden.

Wichtige Voraussetzung für die Berechnung von Kälteprozessen und für den Entwurf von Komponenten und Anlagen ist die Kenntnis der thermodynamischen Eigenschaften des Arbeitsmittels. Hierunter versteht man sein Verhalten bei Druck- und Temperaturänderungen und bei der Aufnahme oder Abgabe von Energie. Die thermodynamischen Eigenschaften eines Stoffes müssen experimentell bestimmt und unter Benutzung von Modellvorstellungen durch Zustandsgleichungen korreliert werden. Diese dienen dem Ingenieur als Arbeitsunterlage bei der Prozeß- und Anlagenberechnung. Die Bestimmung der thermodynamischen Eigenschaften neuer Arbeitsstoffe ist die Aufgabe von Forschungsinstituten vornehmlich an den Hochschulen. In Deutschland werden diese Arbeiten durch ein Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

Die neuen Arbeitsstoffe gehören wiederum zur Klasse der halogenierten Kohlenwasserstoffe (im wesentlichen Ethanderivate), doch enthalten sie kein Chlor und kein

Brom, womit eine Ozongefährdung ausgeschlossen ist. Durch Wasserstoffatome im Molekül wird die Stabilität und damit die atmosphärische Lebensdauer herabgesetzt, was einen rascheren Abbau der Stoffe in der Atmosphäre bewirkt und ihren Beitrag zum Treibhauseffekt vermindert. Bei geringer Lebensdauer können auch Chlorverbindungen toleriert werden, die ein nur geringes Ozonabbaupotential besitzen. Die beiden wichtigsten neuen Arbeitsstoffe sind R 123 ( $\text{CHCl}_2\text{CF}_3$ ) als Ersatz für R 11 ( $\text{CCl}_3\text{F}$ ) und R 134a ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ) als Ersatz für R 12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ). Auch bekannte Kältemittel wie R 22 ( $\text{CHClF}_2$ ) und R 152a ( $\text{CH}_3\text{CHF}_2$ ) sind atmosphärisch akzeptable Stoffe, wobei jedoch R 152a brennbar ist, was seine Anwendung bedenklich erscheinen läßt.

Für die thermodynamische Stoffdatenforschung stellt die Einführung neuer Kältemittel umfangreiche Aufgaben der experimentellen Untersuchung und der theoretischen Verarbeitung der Meßdaten. Für die Kälte- und Klimatechnik bringt der Übergang von den bewährten Kältemitteln zu den neuen Arbeitsstoffen zahlreiche Probleme hinsichtlich der Gestaltung der Anlagen und in der Gewährleistung eines störungsfreien Betriebes. Vor einem übereilten Verbot der bewährten Kältemittel muß daher gewarnt werden.

## Optimierung von Industrieöfen mit Wärmerückgewinnung aus dem Gut

Von **Rudolf Jeschar** und **Hans-Georg Bittner**<sup>1)</sup>

In einer Reihe von Industriezweigen gibt es Ofenprozesse, bei denen das Gut nach Erwärmung auf eine maximale Prozeßtemperatur unmittelbar wieder gekühlt wird, wobei die aus dem Kühlprozeß gewonnene Wärme in den eigentlichen Ofenprozeß zurückgeführt wird. Als Kühlmedium wird in der Regel Luft verwendet. Diese gibt die aus dem Kühler stammende Wärme in der Aufheizzone des Ofens wieder ab und dient darüber hinaus gleichzeitig als Verbrennungsluft. Je nach Art des thermischen Prozesses kann der Kühler in den Ofen integriert sein oder ein eigenes Aggregat darstellen. Wärmetechnisch unterscheiden sich diese Prozesse in Bezug auf die Art der Kopplung zwischen Aufheizen und Kühlen nicht. Entsprechendes gilt auch für das Aufheizen des Gutes, bevor der Brennstoff zugeführt wird. [1] bis [6]

Beispiele für solche Prozesse ist das Brennen von Keramik aller Art in Tunnelöfen, das Brennen von Kalkstein und Dolomit in Schachtöfen sowie das Brennen von Kalkstein und Zement in Drehrohröfen. Bei Tunnelöfen und Schachtöfen ist der Kühlprozeß in der Regel in den Ofen integriert. Bei den Drehrohröfenprozessen wird das Gut hingegen in besonderen Apparaten gekühlt, die dem Drehrohr nachgeschaltet sind. Zuerst werden die Prinzipskizzen dieser drei Ofentypen vorgestellt.

*Bild 1* zeigt exemplarisch den Aufbau eines Tunnelofens am Beispiel des Brennens von Ziegeln [1]. Bei diesem Ofentyp werden die einzelnen Wagen mit den gestapelten Ziegeln hintereinandergereiht kontinuierlich durch einen Brennkana gestoßen. Brenngut und Heizgas werden im Gegenstrom geführt. Öfen dieser Art bestehen aus einer Aufheiz-, einer Brenn- und einer Kühlzone. Beheizt werden diese beispielsweise mit Deckenbrennern als Oberbeheizung sowie mit Seitenbrennern. Der Abgasaustritt befindet sich am Anfang der Aufheizzone. Außerdem ist vorgesehen, daß der Kühlzone Heißluft, z. B. für die Trocknerei, entnommen werden kann.

Mit *Bild 2* wird als typischer Schachtofen zum Brennen von Kalkstein der Ringschachtofen vorgestellt. Er besteht im wesentlichen aus einem runden Schacht, in dem zentrisch ein Hohlzylinder an der Gicht aufgehängt ist. Dieser reicht bis in den oberen Bereich der Kühlzone. Der Brennstoff wird in zwei übereinanderliegenden Brennebenen zugeführt. Gut und Gas werden überwiegend im Gegenstrom geführt. Lediglich im Bereich zwischen unterer Brennebene und Kühlzone entsteht durch die oben

<sup>1)</sup> Prof. Dr.-Ing. R. Jeschar, geschäftsführender Leiter, Dr.-Ing. H.-G. Bittner, wissenschaftlicher Mitarbeiter, Technische Universität Clausthal, Institut für Energieverfahrenstechnik, Agricolastraße 4, 3392 Clausthal-Zellerfeld.



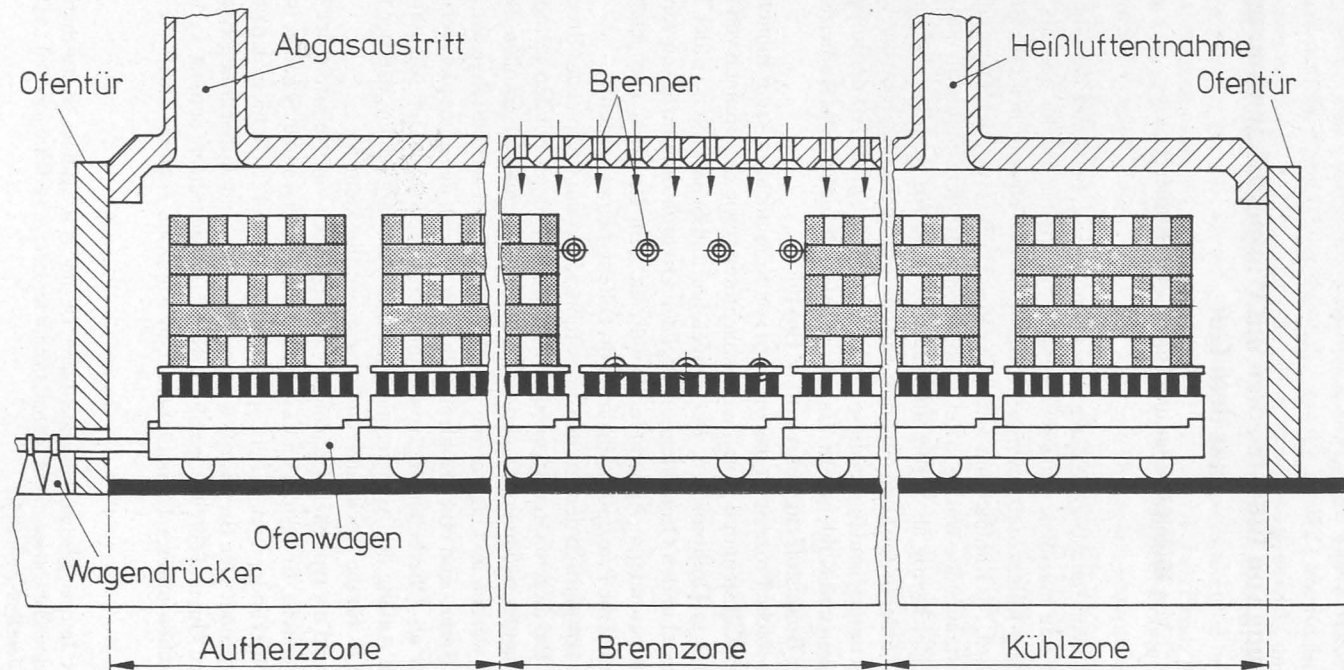


Bild 1:  
Prinzipskizzen eines Tunnelofens

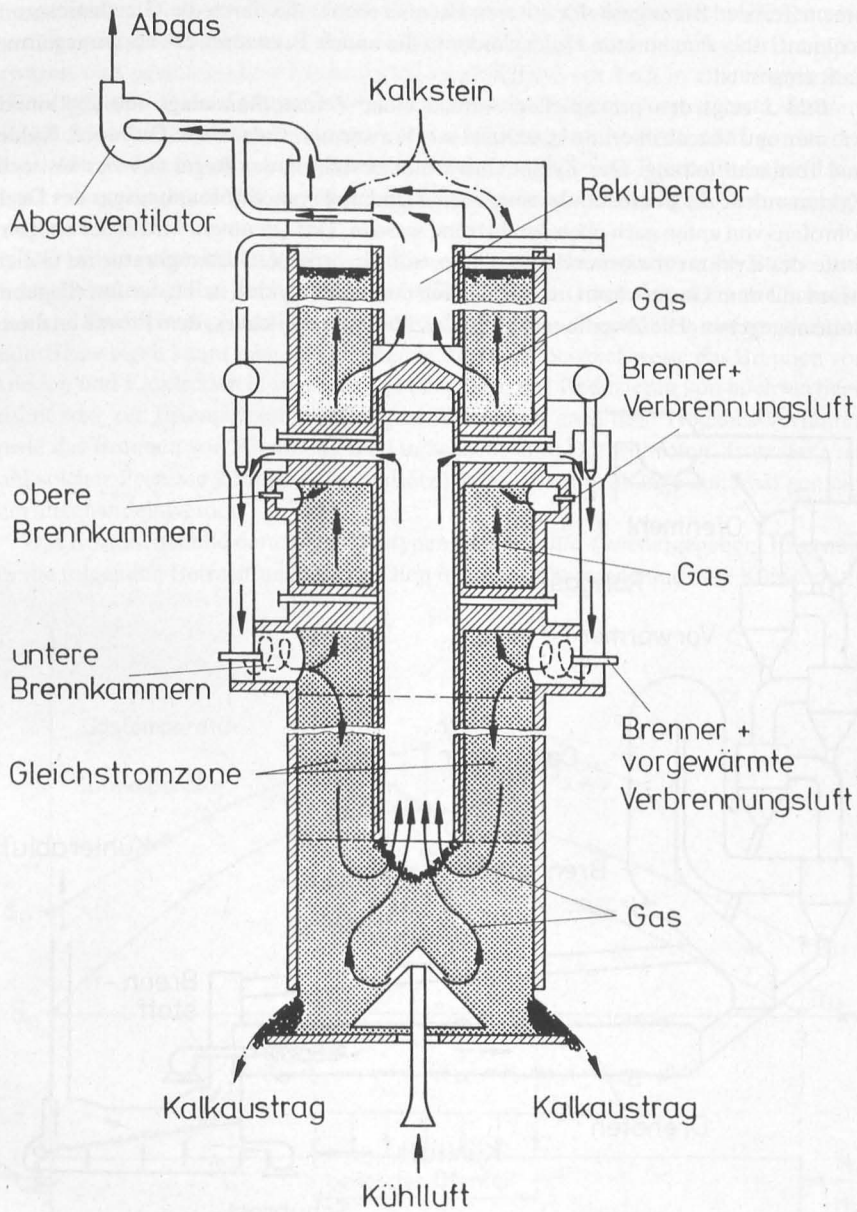


Bild 2:  
Prinzipskizze eines Ringschachtofens

beschriebene Anordnung eine Gleichstromzone. Die Kühlluft wird zusammen mit einem Teil der Brenngase der unteren Brennerebene, die durch die Gleichstromzone strömen, über den inneren Hohlzylinder in die untere Brennerebene als vorgewärmte Luft eingesetzt.

Bild 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Zementofenanlage mit Zyklonvorwärmer und Voralcalzinierung bestehend aus Vorwärmer, Calcinator, Drehrohr, Kühler und Tertiärluftleitung. Der Zyklonvorwärmer besteht in der Regel aus vier bis sechs Zyklonstufen, die übereinander angeordnet sind und vom Verbrennungsgas des Drehrohrfens von unten nach oben durchströmt werden. Das Ofenmehl wird in der obersten Stufe des Zyklonvorwärmers aufgegeben, auf die örtliche Gastemperatur im Gleichstrom mit dem Gas erwärmt und schließlich durch den Zyklon in die darunterliegende Stufe abgegeben. Die Zweitfeuerung im Calcinator ermöglicht es, dem Prozeß an dieser

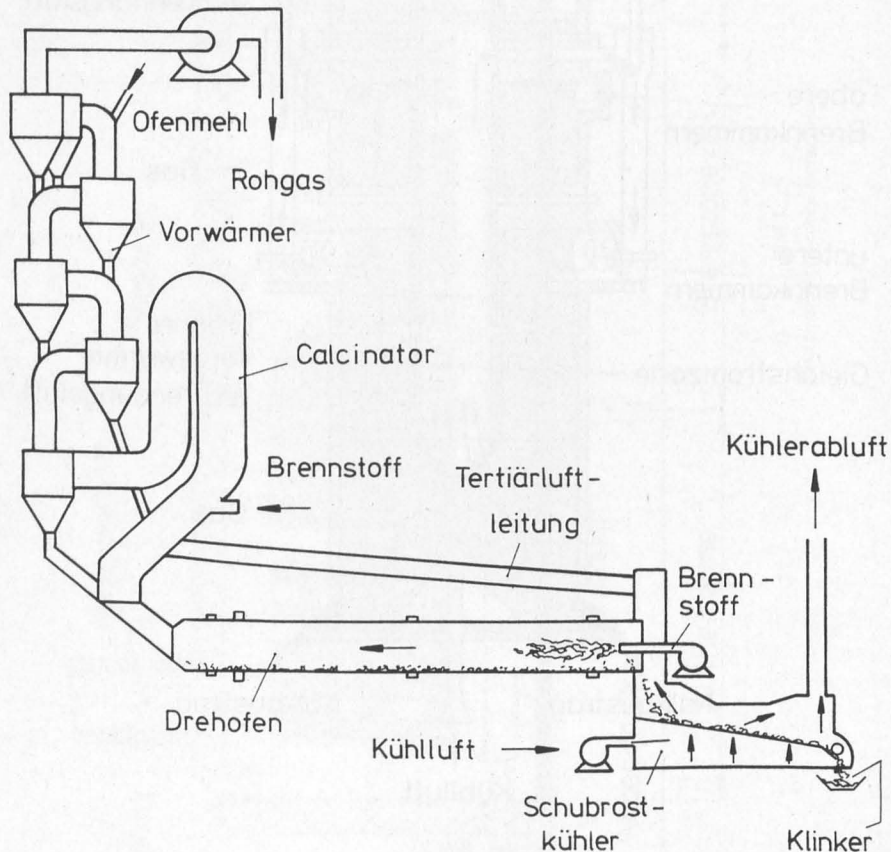


Bild 3:  
Prinzipische Skizze einer Drehrohrfenanlage

Stelle soviel Energie zuzuführen, daß das Calciumcarbonat des Brenngutes bis zum Eintritt in den Drehrohröfen über 90% dissoziiert werden kann. Im Drehrohröfen wird im Gegenstrom das restliche Calciumcarbonat dissoziiert und danach das Brenngut erwärmt und gesintert. Der Klinker wird anschließend mit Luft in einem separaten Kühler gekühlt. Diese Luft wird teilweise oder vollständig als vorgewärmte Verbrennungsluft im Prozeß eingesetzt. Der in diesem Bild dargestellte Rostkühler wird in der Regel mit größeren Luftmengen betrieben. Bei Satelliten- und Rohrkühlern wird hingegen eine geringere Kühlluftmenge eingesetzt, die dann vollständig als Verbrennungsluft genutzt wird.

Die bisher aufgezählten Prozesse sind ausschließlich Brennprozesse der Steine- und Erden-Industrie. Dabei werden Tunnelöfen für geformte Güter eingesetzt und Schachtöfen und Drehrohröfen zum Brennen von Schüttgütern. Aber auch in einigen anderen Industriezweigen kennt man entsprechende Prozesse, beispielsweise das Brennen von Anoden und Elektroden in sogenannten Ringöfen, das Reduzieren von hochwertigen Eisenerzen zur Eisenpulverherstellung in Tunnelöfen nach dem Höpman-Verfahren sowie das Brennen von Aluminiumoxid in Schacht- und Drehrohröfen. Trotz der Vielzahl solcher Prozesse können die grundsätzlichen Zusammenhänge zunächst gemeinsam abgehandelt werden.

Das Ersatzschaubild derartiger Ofentypen wird mit *Bild 4* wiedergegeben. Es genügt für die folgenden Betrachtungen, den Ofen in eine Aufheizzone und eine Kühlzone zu

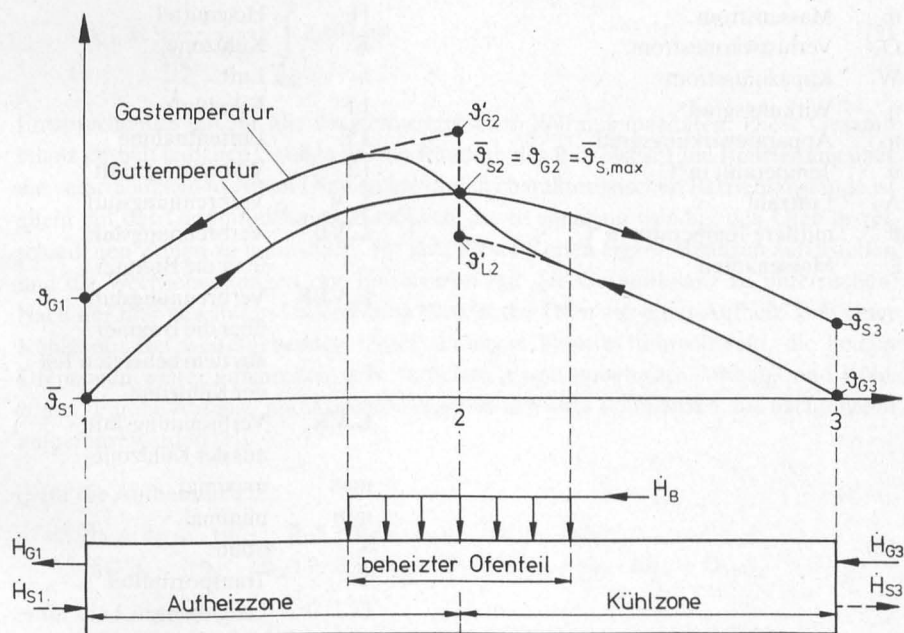


Bild 4:

Energiebilanz und Temperaturverläufe für Heizgas und Gut im Durchlaufofen mit Guterwärmung

unterteilen, wobei beide Zonen im Bereich hoher Guttemperaturen beheizt werden. Die Trennung dieser beiden Prozeßbereiche wird an der Stelle der maximalen Guttemperatur  $\bar{\vartheta}_{S2}$  vorgenommen. Eingezeichnet sind in dieses Bild auch die qualitativen Verläufe des Heizgases bzw. der Kühlluft  $\vartheta_G$  sowie für die mittlere Temperatur des Brenngutes  $\bar{\vartheta}_S$ . Charakteristisch ist das Aufheizen des Gutes von der Einsatztemperatur  $\bar{\vartheta}_{S1}$  auf die maximale Prozeßtemperatur  $\bar{\vartheta}_{S2}$  und das anschließende Kühlen bis auf die Entnahmetemperatur  $\bar{\vartheta}_{S3}$ . In der Aufheizzone liegt also die Gastemperatur über der Brennguttemperatur und in der Kühlzone darunter. Im Bereich der Brennstoffzufuhr wird der mögliche Temperaturverlauf des Gases durch die durchgezogene Linie wiedergegeben. Der wirkliche Verlauf ist von der Art der Brennstoffverteilung abhängig. Der im Maximum der Guttemperatur  $\bar{\vartheta}_{S2}$  gestrichelt eingetragene senkrechte Verlauf der

Tabelle 1: Formelzeichen und Indizes

Formelzeichen		Indizes	
c	mittlere spezifische Wärmekapazität	A	Aufheizzone
h	Heizwert	B	Brennstoff
$\Delta h_R$	spezifische Reaktionsenthalpie	G	Gas
$\dot{H}$	Enthalpiestrom	ges	gesamt
L	Luftbedarf	S,G	Gasanteil aus dem Solid
$\dot{m}$	Massenstrom	H	Heizmittel
$\dot{Q}_V$	Verlustwärmestrom	K	Kühlzone
$\dot{W}$	Kapazitätsstrom	L	Luft
$\eta$	Wirkungsgrad	LF	Falschluft
$\eta_A$	Apparatewirkungsgrad	LE	Luftentnahme
$\vartheta$	Temperatur in °C	LT	Wärmeträgerluft
$\Lambda$	Luftzahl	L,V	Verbrennungsluft
$\bar{\vartheta}$	mittlere Temperatur in °C	L,VB	Verbrennungsluft über die Brenner
$\xi$	Massenanteil	L,VBK	Verbrennungsluft über die Brenner aus dem beheizten Teil der Kühlzone
		L,VK	Verbrennungsluft aus der Kühlzone
		max	maximal
		min	minimal
		S	Solid
		T	Transportmittel
		U	Umgebung
		u	unterer
		V	Verlust

Gasttemperatur würde sich einstellen, wenn der gesamte Brennstoff punktförmig bei der maximalen Guttemperatur  $\bar{\vartheta}_{S2}$  zugegeben werden würde. Die Temperatur  $\vartheta'_{L2}$  ist hierbei die Vorwärmtemperatur der aus der Kühlzone zur Heizzone geführten Luft und  $\vartheta'_{G2}$  die bei der jeweiligen Prozeßführung erreichbare kalorische Verbrennungstemperatur. Wie sich aus den späteren Ausführungen noch ergeben wird, hängen die sich einstellenden Temperaturverläufe stark vom Kapazitätsstromverhältnis Gas zu Solid ab. Die hier wiedergegebenen Temperaturverläufe sind jedoch qualitativer Natur. Die Bezeichnungen dieses Bildes sind in *Tabelle 1* erklärt, in der auch alle weiteren in dieser Arbeit verwendeten Formelzeichen aufgeführt sind.

### Energiebilanzen der Ofenanlage

Grundlage für die Optimierung von Ofenanlagen dieser Art ist stets die Energiebilanz für den gesamten Prozeß, die für diesen Ofentyp in folgender Form geschrieben werden kann [1]:

$$\begin{aligned} \dot{m}_B \cdot h_u = & \dot{m}_S \cdot c_{S,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1}) + \dot{m}_T \cdot c_{T,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{T3} - \bar{\vartheta}_{T1}) + \dot{m}_S \cdot \Delta h_R \\ & + \dot{m}_{G1} \cdot c_{G,13} \cdot (\vartheta_{G1} - \vartheta_{G3}) + \dot{m}_{LE} \cdot c_{LE,E3} \cdot (\vartheta_{LE} - \vartheta_{G3}) + \dot{Q}_V, \end{aligned} \quad (1)$$

wobei hier die mittlere spezifische Wärmekapazität mit  $c_{S,31}$  bezeichnet wird, d. h. es ist

$$c_{S,31} = \frac{1}{\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1}} \cdot \int_{\bar{\vartheta}_{S1}}^{\bar{\vartheta}_{S3}} c_S(\vartheta) d\vartheta. \quad (2)$$

Entsprechendes gilt für alle übrigen spezifischen Wärmekapazitäten. Diese Gesamtbilanz enthält lediglich Größen an den Rändern des Prozesses. Eine Beurteilung über die verschiedenen in einem Ofen auftretenden charakteristischen Betriebszustände ist allein mit der Gesamtbilanz nicht möglich. Es ist somit notwendig, den Ofen in verschiedenen Zonen zu unterteilen, für jede dieser Zonen eigene Bilanzen aufzustellen und die Wechselwirkungen der Teilbilanzen mit der Gesamtbilanz zu untersuchen. Nach der hier gewählten Unterteilung besteht der Ofen aus einer Aufheiz- und einer Kühlzone. Bei weitergehenden Untersuchungen kann es sinnvoll sein, die beiden Ofenzonen weiter aufzuteilen, z. B. in beheizte und unbeheizte Aufheiz- und Kühlzonen. Für die Aufheiz- und Kühlzone ergeben sich zwei Teilbilanzen, die nachfolgend aufgeführt werden [1]:

– für die Aufheizzone

$$\begin{aligned} \dot{m}_{G2} \cdot c_{G,2U} \cdot (\vartheta'_{G2} - \vartheta_U) - \dot{m}_{G1} \cdot c_{G,1U} \cdot (\vartheta_{G1} - \vartheta_U) = \\ \dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1}) + \dot{m}_T \cdot c_{T,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{T2} - \bar{\vartheta}_{T1}) + \dot{m}_S \cdot \Delta h_R + \dot{Q}_{V,A} \end{aligned} \quad (3)$$

– für die Kühlzone

$$\begin{aligned} \dot{m}_S \cdot c_{S,23} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S3}) + \dot{m}_T \cdot c_{T,23} \cdot (\bar{\vartheta}_{T2} - \bar{\vartheta}_{T3}) = \\ \dot{m}_{L2} \cdot c_{L,23} \cdot (\vartheta'_{L2} - \vartheta_{G3}) + \dot{m}_{LE} \cdot c_{LE,E3} \cdot (\vartheta_{LE} - \vartheta_{G3}) + \dot{Q}_{V,K} \end{aligned} \quad (4)$$

und schließlich für den adiabaten Verbrennungsprozeß

$$\dot{m}_B \cdot h_u + \dot{m}_{L2} \cdot c_{L2} \cdot \vartheta'_{L2} = \dot{m}_{G2} \cdot c_{G2} \cdot \vartheta'_{G2}. \quad (5)$$

Für die weiteren Herleitungen ist es sinnvoll, die Bilanzglieder der obigen Gleichungen (1), (3) und (4) auf die spezifische Enthalpie des Gutes bei maximaler Prozeßtemperatur zu beziehen. Gleichung (1) ist nach dem spezifischen Energieverbrauch und Gleichung (3) bzw. (4) nach der Kopplung zwischen Teil- und Gesamtbilanz, also nach der spezifischen Abgasmenge bzw. nach den spezifischen Ausfahrverlusten aufzulösen:

– für den Gesamtprozeß

$$\begin{aligned} \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} = & \frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{1}{\eta_{T3}} \cdot \frac{c_{S,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1})}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{\dot{m}_{LE} \cdot c_{LE,E3} \cdot (\vartheta_{LE} - \vartheta_{G3})}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \\ & + \frac{\dot{m}_{G1} \cdot c_{G,13} \cdot (\vartheta_{G1} - \vartheta_{G3})}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{\dot{Q}_V}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \end{aligned} \quad (1a)$$

– für die Aufheizzone

$$\begin{aligned} \frac{\dot{m}_{G1} \cdot c_{G,1U} \cdot (\vartheta_{G1} - \vartheta_U)}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} = & \frac{\dot{m}_{G2} \cdot c_{G,2U} \cdot (\vartheta'_{G2} - \vartheta_U)}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} - \frac{1}{\eta_{T2}} - \frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} - \frac{\dot{Q}_{V,A}}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \end{aligned} \quad (3a)$$

– und für die Kühlzone

$$\begin{aligned} \frac{1}{\eta_{T3}} \cdot \frac{c_{S,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1})}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} = & \frac{1}{\eta_{T2}} - \frac{\dot{m}_{L2} \cdot c_{L,23} \cdot (\vartheta'_{L2} - \vartheta_{G3})}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} - \frac{\dot{m}_{LE} \cdot c_{LE,E3} \cdot (\vartheta_{LE} - \vartheta_{G3})}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \\ & - \frac{\dot{Q}_{V,K}}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \end{aligned} \quad (4a)$$

In den obigen Gleichungen sind die Transportmittelwirkungsgrade  $\eta_T$  an der Systemgrenze 2 mit

$$\eta_{T2} = \frac{1}{1 + \frac{\dot{m}_T \cdot c_{T,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{T2} - \bar{\vartheta}_{T1})}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})}} \quad (6)$$

und an der Systemgrenze 3 mit

$$\eta_{T3} = \frac{1}{1 + \frac{\dot{m}_T \cdot c_{T,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{T3} - \bar{\vartheta}_{T1})}{\dot{m}_S \cdot c_{S,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1})}} \quad (7)$$

definiert. Obige Transportmittelwirkungsgrade unterscheiden sich in der Regel nur unwesentlich voneinander. Für die nachfolgenden Betrachtungen wird vereinfachend angenommen, daß die Transportmittelwirkungsgrade an den verschiedenen Systemgrenzen gleich sind. Es folgt somit:

$$\eta_T = \eta_{T2} = \eta_{T3}. \quad (8)$$

### Massenbilanzen der Ofenanlage

Obige Gleichungen sind durch geeignete Beziehungen zur Massenerhaltung zu verbinden. Im einzelnen werden folgende Gasströme berücksichtigt:

- die Luftmenge  $\dot{m}_{L,V}$ , die unter Berücksichtigung eines angemessenen Luftüberschusses zur Verbrennung des zugeführten Brennstoffes benötigt wird,
- die aus der Kühlzone stammende Luftmenge  $\dot{m}_{L,T}$ , die ausschließlich als Wärmeträgerluft dient,
- die Luftmenge  $\dot{m}_{L,F}$ , die als Falschluf in der Aufheizzone ungewollt in den Prozeß eintritt,
- die Luftmenge  $\dot{m}_{L,E}$ , die dem Prozeß am Ende der Kühlzone, z.B. zum Trocknen, entnommen wird, sowie
- die Gasmenge  $\dot{m}_{S,G}$ , die aus dem Solid stammt, beispielsweise das  $\text{CO}_2$  beim Calcinieren.

Die eingesetzte Wärmeträgerluft  $\dot{m}_{L,T}$  sowie die der Kühlzone entnommene Luftmenge  $\dot{m}_{L,E}$  werden je nach Betriebsweise vorgegeben. Für die übrigen oben aufgeführten Massenströme lassen sich folgende Zusammenhänge aufstellen:

- **für die Verbrennungsluft**

$$\dot{m}_{L,V} = \dot{m}_B \cdot \Lambda \cdot L_{\min}. \quad (9)$$

Die Verbrennungsluft kann teilweise aus der Kühlzone stammen oder zum Teil direkt den einzelnen Brennern zugeführt werden. Es ergeben sich somit zwei Teilströme:

$$\dot{m}_{L,V} = \dot{m}_{L,VK} + \dot{m}_{L,VB}. \quad (10)$$

Beide Teilströme können in analoger Form zu Gleichung (9) geschrieben werden, und zwar für die Verbrennungsluftmenge aus der Kühlzone

$$\dot{m}_{L,VK} = \dot{m}_B \cdot \Lambda_K \cdot L_{\min} \quad (11)$$

sowie für die Verbrennungsluftmenge, die direkt aus der Umgebung den Brennern zugeführt wird

$$\dot{m}_{L,VB} = \dot{m}_B \cdot \Lambda_B \cdot L_{\min}. \quad (12)$$

Die Luftzahl der Verbrennungseinstellung setzt sich somit additiv aus den Luftzahlen der entsprechenden Teilströme zusammen:

$$\Lambda = \Lambda_K + \Lambda_B. \quad (13)$$



### – für die Falschluf

Die Falschlufmenge  $\dot{m}_{LF}$  wird zweckmäßigerweise auf die gesamte Abgasmenge  $\dot{m}_{G1}$  bezogen:

$$\dot{m}_{LF} = \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}} \cdot \dot{m}_{G1}. \quad (14)$$

### – für das Gas aus dem Gut

Der dem Ofenprozeß zugeführte Solidmassenstrom  $\dot{m}_{S,Ein}$  setzt sich aus dem Massenstrom  $\dot{m}_S$ , der später als Fertigprodukt den Ofen verläßt und aus einem Mengenanteil  $\dot{m}_{S,G}$  zusammen, der während des Prozesses in die Gasphase übertritt:

$$\dot{m}_{S,Ein} = \dot{m}_S + \dot{m}_{S,G} \quad (15)$$

bzw.

$$\frac{\dot{m}_{S,Ein}}{\dot{m}_S} = 1 + \frac{\dot{m}_{S,G}}{\dot{m}_S}. \quad (15a)$$

Definiert man einen relativen Gasanteil bezogen auf das Fertigprodukt

$$\xi_{S,G} = \frac{\dot{m}_{S,G}}{\dot{m}_S}, \quad (16)$$

so erhält man aus Gleichung (15):

$$\dot{m}_{S,Ein} = \dot{m}_S \cdot (1 + \xi_{S,G}). \quad (17)$$

Zur Bestimmung des Gasanteiles wird in der Regel von der Analyse des Einsatzstoffes  $\dot{m}_{S,Ein}$  ausgegangen. Zu unterscheiden sind hierbei der Solidanteil im Einsatzstoff

$$\xi'_S = \frac{\dot{m}_S}{\dot{m}_{S,Ein}} \quad (18)$$

und der Gasanteil im Einsatzstoff

$$\xi'_{S,G} = \frac{\dot{m}_{S,G}}{\dot{m}_{S,Ein}}. \quad (19)$$

Nach Gleichsetzen der Gleichungen (16) und (19) erhält man die Ausgangsgleichung für die Umrechnung der Analysewerte des Einsatzstoffes auf die Analysewerte des Fertigproduktes:

$$\xi'_{S,G} \cdot \dot{m}_{S,Ein} = \xi_{S,G} \cdot \dot{m}_S. \quad (20)$$

Unter Berücksichtigung der Gleichung (18) ergibt sich die Bestimmungsgleichung für die Umrechnung:

$$\xi_{S,G} = \frac{\xi'_{S,G}}{\xi'_S}. \quad (21)$$

### – für die gesamte Abgasmenge

Das Abgas setzt sich aus der Verbrennungsluftmenge, der Falschlufmenge, der Gasmenge aus dem Solid sowie der Wärmeträgerluftmenge zusammen:

$$\dot{m}_{G1} = \dot{m}_{L,V} + \dot{m}_{LF} + \dot{m}_{S,G} + \dot{m}_{LT}. \quad (22)$$

Mit den obigen Beziehungen ergibt sich somit für die aus dem Ofen stammende Abgasmenge:

$$\frac{\dot{m}_{G1}}{\dot{m}_S} = \frac{1}{1 - \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}}} \cdot \left[ \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_S} \cdot (1 + \Lambda \cdot L_{\min}) + \xi_{S,G} + \frac{\dot{m}_{LT}}{\dot{m}_S} \right]. \quad (23)$$

### Mögliche Betriebsweisen bei Öfen mit anschließender Gutkühlung

Der im folgenden näher betrachtete spezifische Energieverbrauch ist durch Gleichung (1) für den Gesamtprozeß gegeben. Charakteristische Größen sind hier vor allem die Abgastemperatur  $\vartheta_{G1}$  und die Ausfahrtemperatur des Gutes  $\bar{\vartheta}_{S3}$ . Jeweils nur eine dieser beiden Temperaturen kann vorgegeben werden. Abhängig von der Art der Betriebsweise wird somit eine dieser beiden Temperaturen in Gleichung (1) entweder durch die Teilbilanz für die Aufheizzone – Gleichung (3) – oder für die Kühlzone – Gleichung (4) – ersetzt. Damit wird Gleichung (1) mit dem Betriebsverhalten der Kühlzone bzw. der Aufheizzone verknüpft. Die Größen, die dann vorgegeben werden müssen, sind die Temperatur der vorgewärmten Luft  $\vartheta'_{L2}$ , die maximale Brenntemperatur des Solids  $\bar{\vartheta}_{S2}$ , sowie die zusätzlich als Wärmeträger eingesetzte Luftmenge  $\dot{m}_{LT}$  und gegebenenfalls die der Kühlzone entnommene Luftmenge  $\dot{m}_{LE}$ . Im einzelnen sind dabei vier voneinander zu unterscheidende Betriebszustände möglich, die in *Bild 5* erläutert werden. Für die Temperaturen des Heizgases beim Verlassen des Ofens  $\vartheta_{G1}$  und des Solids am Ofenaustritt  $\bar{\vartheta}_{S3}$  werden in dieser Darstellung minimal zulässige Werte gewählt, sofern sie in den einzelnen Bereichen vorgegeben werden können. Diese Temperaturen werden dann jeweils konstant gehalten. Dieses Bild veranschaulicht, wie sich die übrigen Temperaturen entsprechend einstellen. Nachfolgend werden diese vier Betriebsweisen diskutiert [1], [2].

#### Betriebsweise I:

– Aus der Kühlzone wird nur soviel Luft der Heizzone zugeführt, wie unter Berücksichtigung eines angemessenen Luftüberschusses zur Verbrennung benötigt wird. Die Abgastemperatur  $\vartheta_{G1}$  wird vorgegeben. Die Luftvorwärmung kann zwischen  $\vartheta'_{L2} = \vartheta_U$  und maximal  $\vartheta'_{L2} = \bar{\vartheta}_{S2}$  frei gewählt werden.

#### Betriebsweise II:

– Der Kühlzone wird jetzt neben der Verbrennungsluft zusätzliche Kuhlluft entnommen und der Heizzone zugeführt. Da diese Luft ausschließlich dazu dient, Wärme aus der Kühlzone zurückzuführen, wird sie als Wärmeträgerluft  $\dot{m}_{LT}$  bezeichnet. Die Lufttemperatur  $\vartheta'_{L2}$  wird während dieses Abschnittes konstant auf dem maximal möglichen Wert gehalten. Die Abgastemperatur kann wie im ersten Abschnitt vorgegeben werden. Die Entnahmetemperatur des Gutes  $\bar{\vartheta}_{S3}$  sinkt daher ab.

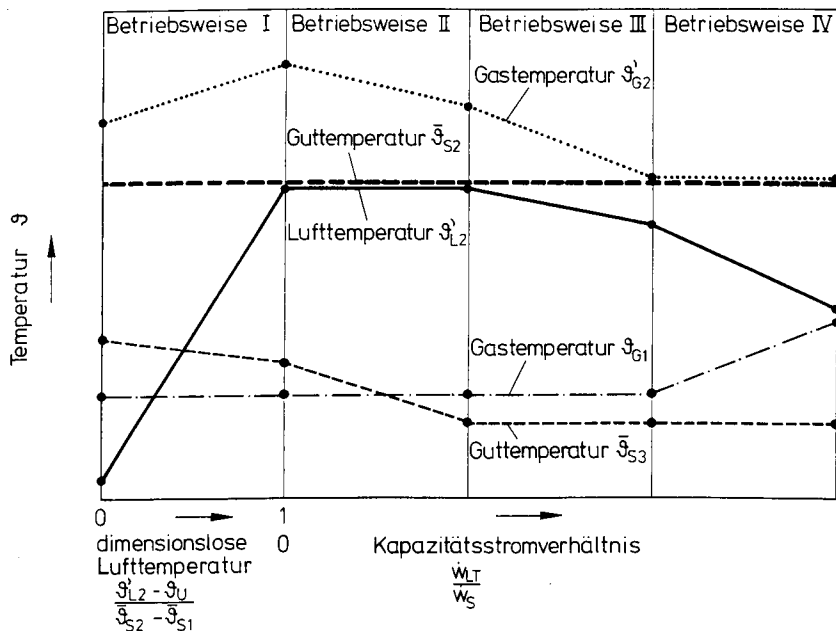


Bild 5:

Qualitative Temperaturverläufe der Luft, des Heizgases und des Gutes für die vier verschiedenen Betriebsweisen in Abhängigkeit der Lufttemperatur (Betriebsweise I) sowie des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut (Betriebsweise II bis IV).

### Betriebsweise III:

– Die Wärmeträgerluftmenge wird weiter gesteigert. Die Temperatur der Luftvorwärmung  $\theta'_{L2}$  sinkt jetzt ab, weil die Ausfahrtemperatur des Gutes  $\theta_{S3}$  zu Beginn dieses Abschnittes auf den minimal möglichen Wert abgefallen ist und auf dieser Temperatur gehalten wird. Der Brennstoffverbrauch ergibt sich aus der gewählten Abgastemperatur  $\theta_{G1}$  und aus der Bedingung, daß die kalorische Verbrennungstemperatur  $\theta'_{G2}$  nicht die maximale Guttemperatur  $\theta_{S2}$  unterschreiten darf.

### Betriebsweise IV:

– Schließlich kann man die Wärmeträgerluftmenge noch weiter steigern, wenn man zuläßt, daß die Abgastemperatur  $\theta_{G1}$  entsprechend ansteigt. Die Temperaturunterschiede zwischen Gas und Solid bei maximaler Brenntemperatur  $\theta_{S2}$  verschwinden in diesem Bereich.

## Spezifischer Energieverbrauch

Zur Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs ist jeweils von Gleichung (1a) auszugehen. Je nach Art der Betriebsweise sind einzelne Terme durch die Gleichungen

(3a) oder (4a) unter Berücksichtigung der jeweils maßgebenden stöchiometrischen Beziehungen zu ersetzen.

### Betriebsweise I:

Für die Betriebsweise I ist vereinbarungsgemäß mit  $\dot{m}_{LT} = 0$  keine Wärmeträgerluft vorhanden. Es wird nur soviel Luft aus der Kühlzone entnommen, wie zur Verbrennung benötigt wird. Es bleibt offen, wie groß die beiden Luftzahlen  $\Lambda_K$  und  $\Lambda_B$  im Einzelfall sein sollen. Die Abgastemperatur wird als  $\vartheta_{G1} = \text{konstant}$  betrachtet, veränderlich ist jedoch die Temperatur der vorgewärmten Luft  $\vartheta'_{L2}$ . Der Term in Gleichung (1a), der die Ausfahrverluste des Gutes  $\vartheta_{S3}$  berücksichtigt, wird durch die entsprechende Größe aus der Teilbilanz für die Kühlzone nach Gleichung (4a) ersetzt. Unter Berücksichtigung der Abgasmenge mit Gleichung (23), der an der Stelle 2 zugeführten Luftmenge

$$\dot{m}_{L2} = \dot{m}_{L,V} + \dot{m}_{LT} \quad (24)$$

und der aus der Kühlzone stammende Luftmenge

$$\dot{m}_{L,K} = \dot{m}_{L,V,K} + \dot{m}_{LT} \quad (25)$$

sowie der Beziehung für die Verlustwärmeströme

$$\dot{Q}_V = \dot{Q}_{V,K} + \dot{Q}_{V,A}, \quad (26)$$

folgt aus Gleichung (1a) für den spezifischen Energieverbrauch der Betriebsweise I:

$$\left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \right]_I = \quad (27)$$

$$\frac{1}{\eta_T} + \frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \xi_{S,G} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}}} \cdot \frac{c_{G,13} \cdot (\vartheta_{G1} - \vartheta_{G3})}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{\dot{Q}_{V,A}}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})}$$

$$\frac{1 + \Lambda_K \cdot L_{\min} \cdot \frac{c_{L,23} \cdot (\vartheta'_{L2} - \vartheta_{G3})}{h_u} - \frac{1}{1 - \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}}} \cdot (1 + \Lambda \cdot L_{\min}) \cdot \frac{c_{G,13} \cdot (\vartheta_{G1} - \vartheta_{G3})}{h_u}}{}$$

Die wesentlichsten Einflußgrößen auf den Brennstoffverbrauch sind die Temperatur der vorgewärmten Luft  $\vartheta'_{L2}$ , die spezifische Reaktionsenthalpie  $\Delta h_R$  sowie der Transportmittelwirkungsgrad  $\eta_T$ . Der Einfluß dieser Größen wird in den folgenden Kapiteln noch ausführlich diskutiert.

### Betriebsweise II:

Bei der Betriebsweise II ist jetzt die Temperatur der vorgewärmten Luft  $\vartheta'_{L2}$  gleich der maximalen Guttemperatur  $\bar{\vartheta}_{S2}$  und bleibt in diesem Abschnitt konstant. Im Gegensatz zur Betriebsweise I wird jetzt Wärmeträgerluft  $\dot{m}_{LT}$  eingesetzt, allerdings nur in einem solchen Maße, daß die Temperatur der vorgewärmten Luft in jedem Fall gleich der maximalen Guttemperatur  $\bar{\vartheta}_{S2}$  ist. Aus Gleichung (1a) ist wiederum analog zur Betriebsweise I mit der Teilbilanz für die Kühlzone nach Gleichung (4a) der Term für die Aus-

fahrttemperatur des Solids  $\bar{\vartheta}_{S3}$  zu eliminieren. Für den spezifischen Brennstoffverbrauch der Betriebsweise II erhält man somit:

$$\left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \right]_{II} = \left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \right]_I \quad (28)$$

$$- \frac{\frac{\dot{m}_{LT} \cdot c_{L,23}}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21}} \cdot \left[ \frac{\bar{\vartheta}'_{L2} \cdot \bar{\vartheta}_{G3}}{\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1}} - \frac{1}{1 - \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}}} \cdot \frac{c_{G,13} \cdot (\bar{\vartheta}_{G1} - \bar{\vartheta}_{G3})}{c_{L,23} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \right]}{1 + \Lambda_K \cdot L_{min} \cdot \frac{c_{L,23} \cdot (\bar{\vartheta}'_{L2} - \bar{\vartheta}_{G3})}{h_u} - \frac{1}{1 - \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}}} \cdot (1 + \Lambda \cdot L_{min}) \cdot \frac{c_{G,13} \cdot (\bar{\vartheta}_{G1} - \bar{\vartheta}_{G3})}{h_u}}$$

Der spezifische Energieverbrauch hängt bei dieser Betriebsweise wesentlich von der eingesetzten Wärmeträgerluftmenge  $\dot{m}_{LT}$ , von der spezifischen Reaktionsenthalpie  $\Delta h_R$  sowie vom Transportmittelwirkungsgrad  $\eta_T$  ab.

### Betriebsweise III:

Bei der Betriebsweise III werden die Abgastemperatur  $\bar{\vartheta}_{G1}$  sowie zusätzlich auch die Ausfahrtemperatur des Gutes  $\bar{\vartheta}_{S3}$  auf den minimal möglichsten Wert konstant gehalten. Die Menge der Wärmeträgerluft  $\dot{m}_{LT}$  wird bei dieser Betriebsweise weiter gesteigert. Zur Ermittlung des spezifischen Energieverbrauches wird jetzt unmittelbar von Gleichung (1a) unter Berücksichtigung der spezifischen Abgasmenge mit Gleichung (23) ausgegangen. Man erhält somit:

$$\left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \right]_{III} = \frac{\frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{1}{\eta_T} \cdot \frac{c_{S,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1})}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})}}{1 - \frac{(1 + \Lambda \cdot L_{min}) \cdot c_{G,13} \cdot (\bar{\vartheta}_{G1} - \bar{\vartheta}_{G3})}{h_u} - \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}}}$$

$$+ \frac{\frac{\xi_{S,G} \cdot c_{G,13} \cdot (\bar{\vartheta}_{G1} - \bar{\vartheta}_{G3})}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{\dot{m}_{LT} \cdot c_{L,13}}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21}} \cdot \frac{c_{G,13} \cdot (\bar{\vartheta}_{G1} - \bar{\vartheta}_{G3})}{c_{L,13} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})}}{1 - \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}} - \frac{(1 + \Lambda \cdot L_{min}) - c_{G,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{G1} - \bar{\vartheta}_{G3})}{h_u}} \quad (29)$$

$$+ \frac{\frac{\dot{m}_{LE} \cdot c_{LE,E3}}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21}} \cdot \frac{(\bar{\vartheta}_{LE} - \bar{\vartheta}_{G3})}{(\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{\dot{Q}_V}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})}}{1 - \frac{(1 + \Lambda \cdot L_{min}) \cdot c_{G,13} \cdot (\bar{\vartheta}_{G1} - \bar{\vartheta}_{G3})}{h_u} - \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}}}$$

Der spezifische Energieverbrauch ist bei dieser Betriebsweise zusätzlich von der in der Kühlzone entnommenen Luftmenge  $\dot{m}_{LE}$  abhängig. Die wesentlichen Einflußgrößen

sind ebenfalls die Wärmeträgerluftmenge  $\dot{m}_{TL}$ , die spezifische Reaktionsenthalpie  $\Delta h_R$  sowie der Transportmittelwirkungsgrad  $\eta_T$ .

#### Betriebsweise IV:

Bei der vierten Betriebsweise bleibt weiterhin die Ausfahrtemperatur des Gutes  $\bar{\vartheta}_{S3}$  konstant. Zusätzlich aber ist die kalorische Verbrennungstemperatur des Gases  $\vartheta'_{G2}$  gleich der maximalen Temperatur des Gutes  $\bar{\vartheta}_{S2}$ . Da jetzt mit größerem Kapazitätsstromverhältnis  $\dot{w}_L/\dot{w}_S$  die Abgastemperatur  $\vartheta_{G1}$  ansteigt, ist diese mit der Energiebilanz für die Aufheizzone zu eliminieren. Der Term in Gleichung (1a), der die Abgasverluste  $\vartheta_{G1}$  berücksichtigt, wird durch den entsprechenden Ausdruck aus der Teilbilanz für die Aufheizzone nach Gleichung (3a) ersetzt. Unter Berücksichtigung der Gasmenge im Bereich der maximalen Guttemperatur an der Stelle 2, an der im Abgas noch keine Falschluf und auch kein aus dem Gut stammendes Gas enthalten ist,

$$\dot{m}_{G2} = \dot{m}_B \cdot (1 + \Lambda \cdot L_{\min}) + \dot{m}_{LT} \quad (30)$$

erhält man für den spezifischen Energieverbrauch dieser Betriebsweise:

$$\left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} \right]_{IV} = \frac{\frac{1}{\eta_T} \cdot \frac{c_{S,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1})}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{\dot{m}_{LT} \cdot c_{L,2U}}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21}} \cdot \frac{c_{G,2U}}{c_{L,2U}}}{1 - (1 + \Lambda \cdot L_{\min}) \cdot \frac{c_{G,2U} \cdot (\vartheta'_{G2} - \vartheta_U)}{h_u}} + \frac{\frac{\dot{m}_{LE} \cdot c_{LE,E3} \cdot (\vartheta_{LE} - \vartheta_{L3})}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} + \frac{\dot{Q}_{V,K}}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})} - \frac{1}{\eta_T}}{1 - (1 + \Lambda \cdot L_{\min}) \cdot \frac{c_{G,2U} \cdot (\vartheta'_{G2} - \vartheta_U)}{h_u}} \quad (31)$$

Der spezifische Energieverbrauch ist bei dieser Betriebsweise unabhängig von der spezifischen Reaktionsenthalpie  $\Delta h_R$ , allerdings wesentlich abhängig von der Wärmeträgerluftmenge  $\dot{m}_{LT}$ .

#### Diskussion von Grenzfällen

Um die wesentlichen Einflußgrößen auf den spezifischen Energieverbrauch besser diskutieren zu können, werden im folgenden für die bereits hergeleiteten Gleichungen verschiedene Vereinfachungen eingeführt. Aus der Kühlzone wird keine Luft, z.B. für die Trocknerei, entnommen und außerdem tritt keine Falschluf in den Ofen ein. Es sind dann

$$\dot{m}_{LE} = 0 \quad \text{und} \quad \dot{m}_{LF} = 0.$$

Aus dem Gut entweicht kein Gas, so daß auch

$$\xi_{S,G} = 0$$

gesetzt werden kann. Die Verbrennungsluft wird nur aus der Kühlzone entnommen. Über die Brenner wird keine zusätzliche Verbrennungsluft zugeführt. Es ist somit

$$\Lambda_B = 0 \quad \text{und} \quad \Lambda_K = \Lambda.$$

Weiterhin wird davon ausgegangen, daß der Ofen adiabat betrieben wird, so daß

$$\dot{Q}_V = \dot{Q}_{V,K} = \dot{Q}_{V,A} = 0$$

gesetzt werden kann. Schließlich wird angenommen, daß Gas und Solid sowohl in den Ofen mit Umgebungstemperatur eintreten als auch mit Umgebungstemperatur den Ofen verlassen:

$$\bar{\vartheta}_{S1} = \vartheta_{G3} = \bar{\vartheta}_{S3} = \vartheta_{G1} = \vartheta_U$$

Für die vereinfachten Betrachtungen sei der Einfluß des Transportmittels zu vernachlässigen. Der Transportmittelwirkungsgrad ist demnach

$$\eta_T = 1.$$

Weiterhin sind in erster Näherung die spezifischen Wärmekapazitäten der Luft und des Ofengases gleich:

$$c_{G,2U} = c_{L,2U}$$

Außerdem sei definitionsgemäß im zweiten Abschnitt die Temperatur der vorgewärmten Luft gleich der maximalen Solidtemperatur

$$\vartheta'_{L2} = \bar{\vartheta}_{S2}$$

sowie im vierten Abschnitt die kalorische Verbrennungstemperatur ebenfalls der maximalen Solidtemperatur

$$\vartheta'_{G2} = \bar{\vartheta}_{S2}.$$

Definiert man das Kapazitätsstromverhältnis Wärmeträgerluft zu Solid

$$\frac{\dot{w}_{LT}}{\dot{w}_S} = \frac{\dot{m}_{LT} \cdot c_L}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21}}, \quad (32)$$

so erhält man mit diesen Vereinfachungen für den spezifischen Energieverbrauch der vier Betriebsweisen folgende Beziehungen:

#### Betriebsweise I:

$$\left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)} \right]_I = \frac{1 + \frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)}}{1 + \Lambda \cdot L_{\min} \cdot \frac{c_{L,2U} \cdot (\vartheta'_{L2} - \vartheta_U)}{h_u}} \quad (33)$$

#### Betriebsweise II:

$$\left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)} \right]_{II} = \frac{1 + \frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)} - \frac{\dot{w}_{LT}}{\dot{w}_S}}{1 + \Lambda \cdot L_{\min} \cdot \frac{c_{L,2U} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)}{h_u}} \quad (34)$$

**Betriebsweise III:**

$$\left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,2I} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)} \right]_{III} = \frac{\Delta h_R}{c_{S,2I} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)} \quad (35)$$

**Betriebsweise IV:**

$$\left[ \frac{\dot{m}_B \cdot h_u}{\dot{m}_S \cdot c_{S,2I} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)} \right]_{IV} = \frac{\frac{\dot{w}_{LT}}{\dot{w}_S} - 1}{1 - (1 + \Lambda \cdot L_{\min}) \cdot \frac{c_{G,2U} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta_U)}{h_u}} \quad (36)$$

Diese Gleichungen lassen erkennen, daß die wesentlichen Einflußgrößen auf den spezifischen Brennstoffverbrauch die spezifische Reaktionsenthalpie  $\Delta h_R$  sowie das Kapazitätsstromverhältnis Wärmeträgerluft zu Solid  $\dot{w}_{LT}/\dot{w}_S$  sind. Es ist besonders hervorzuheben, daß mit der letztgenannten Größe der Brennstoffverbrauch bei der Betriebsweise II verringert wird, bei der Betriebsweise IV dagegen ansteigt. Bei der Betriebsweise III ist der Brennstoffverbrauch mit den hier getroffenen Vereinfachungen allerdings nur noch von der spezifischen Reaktionsenthalpie  $\Delta h_R$  abhängig. Bei der Betriebsweise IV wird der spezifische Energieverbrauch unabhängig von der spezifischen Reaktionsenthalpie. Der Brennstoff wird jetzt ausschließlich zur Aufrechterhaltung der Verbrennungstemperatur benötigt. Setzt man in den vereinfachten Gleichungen darüber hinaus noch die spezifische Reaktionsenthalpie  $\Delta h_R = 0$ , so wird der bezogene spezifische Energieverbrauch nur noch vom Kapazitätsstromverhältnis  $\dot{w}_{LT}/\dot{w}_S$  bestimmt. Bei einem Kapazitätsstromverhältnis  $\dot{w}_{LT}/\dot{w}_S = 1$  ist der spezifische Energieverbrauch bei den hier getroffenen Vereinfachungen für die Betriebsweisen II, III und IV gleich null. Die drei Betriebsweisen fallen dann in einen Punkt zusammen.

### Graphische Darstellung des spezifischen Energieverbrauchs

Im folgenden wird der spezifische Energieverbrauch gemäß den obigen vier Gleichungen (27), (28), (29) und (31) mit *Bild 6* graphisch dargestellt [1]. Aufgetragen ist in dieser Darstellung der spezifische Energieverbrauch abhängig von der bezogenen Temperatur der Luftvorwärmung bzw. der ebenfalls bezogenen Wärmeträgerluftmenge. Parameter ist die bezogene Reaktionsenthalpie des Gutes. Ausgegangen wird zunächst von einem Grundfall, dessen vorgegebene Temperaturen, Massenströme und Stoffwerte der *Tabelle 2* zu entnehmen sind. Einige dieser Größen werden nacheinander in geeignete Grenzen verändert. Wie diese Darstellung zeigt, fällt der spezifische Energieverbrauch während der beiden ersten Betriebsweisen ab, allerdings mit unterschiedlicher Steigung. In den beiden folgenden Bereichen steigt dann der spezifische Energieverbrauch wieder an. Der jeweils niedrigste Energieverbrauch und damit die maximal mögliche Energierückgewinnung wird am Ende des zweiten Abschnittes erreicht. Bei sehr hohen Reaktionsenthalpien befindet sich allerdings dieses Minimum bereits am Ende des ersten Abschnittes. Bei weiterer Steigerung der Wärmeträgerluft-



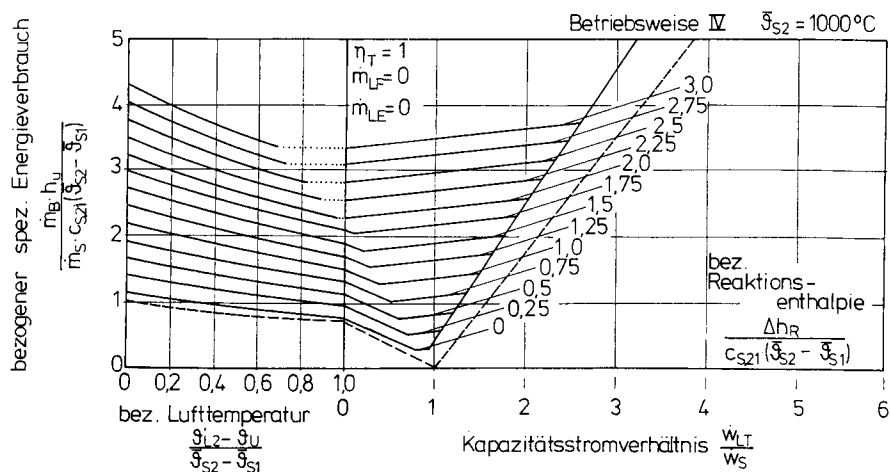


Bild 6:

Bezogener spezifischer Energieverbrauch als Funktion der vier Betriebsweisen, der vorgewärmten Luft oder des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut, für verschiedene relative Reaktionsenthalpien.

Tabelle 2: Vorgegebene Temperaturen, Massenströme und Stoffwerte

$\vartheta_U = 25^\circ\text{C}$	Eintrittstemperatur von Gas und Brenngut
$\bar{\vartheta}_{S3} = 100^\circ\text{C}$	Ausfahrtemperatur des Brenngutes
$\vartheta_{G1} = 150^\circ\text{C}$	Abgastemperatur
$\dot{m}_{LE} = 0 \text{ kg/s}$	Luftentnahme
$\dot{m}_{LF} = 0 \text{ kg/s}$	Falschluf
$\dot{m}_{S,G} = 0 \text{ kg/s}$	Gas aus dem Brenngut
$c_S = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	spez. Wärmekapazität des Gutes
$c_L = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	spez. Wärmekapazität der Luft
$c_G = 1,1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	spez. Wärmekapazität des Gases
$\Lambda = 1,2$	Luftzahl (gesamt)
$\Lambda_K = 1,2$	Luftzahl in der Kühlzone
$L_{\min} = 15,78 \text{ kg/kg}$	Mindestluftbedarf
$h_u = 46040 \text{ kJ/kg}$	unterer Heizwert des Brennstoffes
$\eta_T = 1,0$	Transportmittelwirkungsgrad
$\Delta h_R = 0 \text{ kJ/kg}$	spez. Reaktionsenthalpie
$\dot{Q}_V / (\dot{m}_S \cdot c_S \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})) = 0,05$	bez. Wärmeverluste

menge ist ein zusätzlicher Energieverbrauch in Kauf zu nehmen. Er äußert sich in einem erhöhten Abgasverlust.

Das Bild zeigt weiterhin, daß sich die einzelnen Kurvenverläufe mit steigenden endothermen Reaktionsenthalpien zu größeren spezifischen Energieverbräuchen verschieben. Höhere Reaktionsenthalpien, wie sie z.B. zum Brennen von Kalkstein im Schachtofen oder zum Brennen von Zement im Drehrohrofen auftreten, sind zu Vergleichszwecken mitangegeben. Hierfür gilt der Bereich der bezogenen Reaktionsenthalpien zwischen 2 und 3. Von der Reaktionsenthalpie ist allerdings der vierte Bereich unabhängig, weil jetzt der Brennstoffverbrauch ausschließlich von der minimal notwendigen kalorischen Verbrennungstemperatur  $\vartheta'_{G2}$  bestimmt wird. Der Energieverbrauch zur Deckung der Reaktionsenthalpie wird jetzt von dem ohnehin im Überschuß vorhandenen Wärmeinhalt des Heizgases geliefert. Im übrigen zeigt dieses Bild, daß die Breite dieser Bereiche maßgeblich von der Höhe der Reaktionsenthalpie abhängt. Die unterste, gestrichelt gezeichnete Grenzkurve gibt schließlich den jeweils minimal möglichen Energieverbrauch an. Man erhält diesen für einen adiabaten Ofen mit  $\dot{Q}_V = 0$ , für einen Ofen ohne chemische Reaktionen  $\Delta h_R = 0$  und wenn zusätzliche folgende Bedingungen erfüllt sind:  $c_G = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  und  $\vartheta_{G1} = \vartheta_{G3} = \bar{\vartheta}_{S1} = \bar{\vartheta}_{S3} = \vartheta_U = 0^\circ\text{C}$ . Beim Kapazitätsstromverhältnis  $\dot{w}_{LT}/\dot{w}_S = 1$  wird der spezifische Energieverbrauch  $\dot{m}_B \cdot h_u/\dot{m}_S$  gleich Null. Dieser Punkt stellt somit einen idealen Ofen dar, bei dem die Wärme vollständig zwischen Kühl- und Aufheizzone hin- und hertransportiert wird. Temperaturunterschiede zwischen Gut und Gas sind jetzt an keiner Stelle mehr vorhanden.

### Verhalten der Kühlzone

Nachfolgend wird gezeigt, wie sich die Kühlzone in den einzelnen Bereichen verhält. Zur Beantwortung dieser Fragestellung eignet sich der Gesamtwirkungsgrad der Kühlzone  $\eta_{\text{ges,K}}$ , der mit dem Heizmittelwirkungsgrad  $\eta_{\text{H,K}}$  und dem apparatetechnischen Wirkungsgrad  $\eta_{\text{A,K}}$  folgendermaßen verknüpft ist [1]:

$$\eta_{\text{ges,K}} = \eta_{\text{H,K}} \cdot \eta_{\text{A,K}} \quad (37)$$

Definiert man den Heizmittelwirkungsgrad der Kühlzone

$$\eta_{\text{H,K}} = 1 - \frac{c_{S,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1})}{c_{S,21} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S1})}, \quad (38)$$

so ergibt sich für einen Prozeß mit einer Brenntemperatur von  $\bar{\vartheta}_{S2} = 1000^\circ\text{C}$  ein maximaler Heizmittelwirkungsgrad von  $\eta_{\text{H,K}} = 0,92$ . Geht man davon aus, daß der apparatetechnische Wirkungsgrad der Kühlzone  $\eta_{\text{A,K}} = 0,95$  beträgt, so erhält man für diesen Brennprozeß einen Gesamtwirkungsgrad der Kühlzone von  $\eta_{\text{ges,K}} = 0,874$ . Bei Erreichen dieses Wirkungsgrades wäre die Kühlzone vollständig ausgenutzt. In *Bild 7* sind die möglichen Verläufe zwischen Null und dem angegebenen Maximalwert dargestellt. Aufgetragen ist in diesem Bild der Gesamtwirkungsgrad des Kühlers  $\eta_{\text{ges,K}}$  in Abhängigkeit von der bezogenen Lufttemperatur bzw. vom Kapazitätsstromverhältnis Wärme-

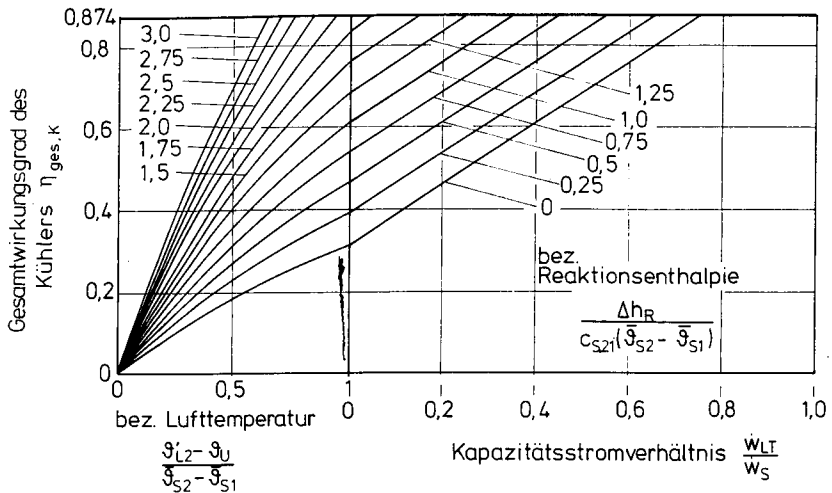


Bild 7:

*Gesamtwirkungsgrad des Kühlers als Funktion der vier Betriebsweisen, der vorgewärmten Luft oder des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut, für verschiedene relative Reaktionsenthalpien.*

trägerluft zu Solid mit der bezogenen spez. Reaktionsenthalpie als Parameter. Dieses Bild verdeutlicht, daß bei Brennprozessen ohne Reaktionen im Gut der max. erreichbare Gesamtwirkungsgrad des Kühlers bei einem Kapazitätsstromverhältnis Wärmeträgerluft zu Solid  $\dot{w}_{LT}/\dot{w}_S = 0,74$ , also im Betriebsbereich II liegt. Dagegen wird bei Prozessen mit hohen entothermen Reaktionsenthalpien von z.B.  $\Delta h_R/(c_{S,21} \cdot (\vartheta_{S2} - \vartheta_{S1})) = 3,0$  der maximale Gesamtwirkungsgrad der Kühlzone bereits bei einer relativen Luftvorwärmung von  $(\vartheta'_{L2} - \vartheta_U)/(\vartheta_{S2} - \vartheta_{S1}) = 0,64$  erreicht. Dieses bedeutet, daß die energetisch günstigste Fahrweise von Ofenprozessen mit großen Reaktionsenthalpien der Betriebsweise I ohne Zugabe von Wärmeträgerluft entspricht und daß bei geringen Reaktionsenthalpien im Gut zusätzlich zur Verbrennungsluft Wärmeträgerluft bei einem Kapazitätsstromverhältnis  $\dot{w}_{LT}/\dot{w}_S \approx 0,5$  bis 0,7 notwendig ist. Dieses Bild zeigt weiterhin, daß man bei einer Reaktionsenthalpie von Null, was etwa dem Ziegelofen entspricht, nur etwa 30% der Enthalpie des Gutes rückgewinnen kann, wenn man einen solchen Ofen mit  $\dot{w}_{LT}/\dot{w}_S = 0$  ohne Wärmeträgerluft betreibt.

### Wichtige Einflußgrößen auf den Energieverbrauch

In den nachfolgenden Diagrammen werden die wichtigsten Einflußgrößen auf den Energieverbrauch diskutiert, die vor allem bei Tunnelöfen typisch sind. Aufgetragen ist jeweils der bezogene spezifische Energieverbrauch in Abhängigkeit von der bezogenen Luftvorwärmtemperatur bzw. des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft

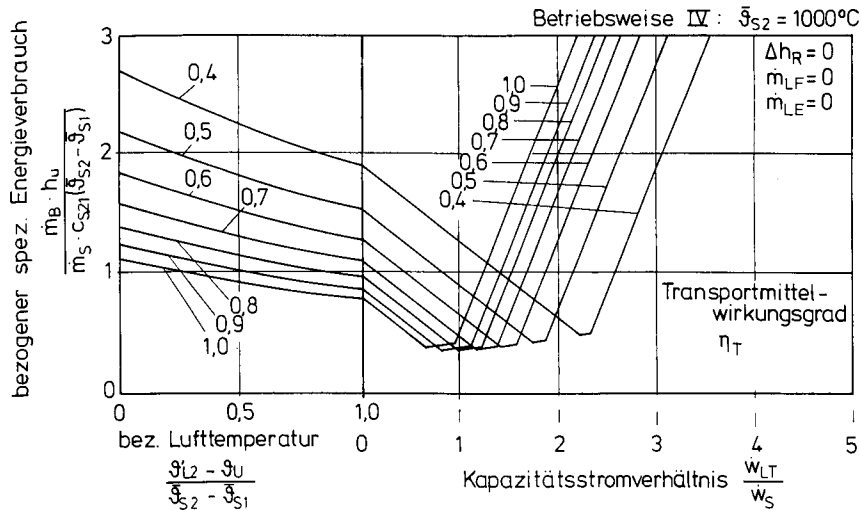


Bild 8:

Bezogether spezifischer Energieverbrauch als Funktion der vier Betriebsweisen, der vorgewärmten Luft oder des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut, für unterschiedliche Transportmittelwirkungsgrade.

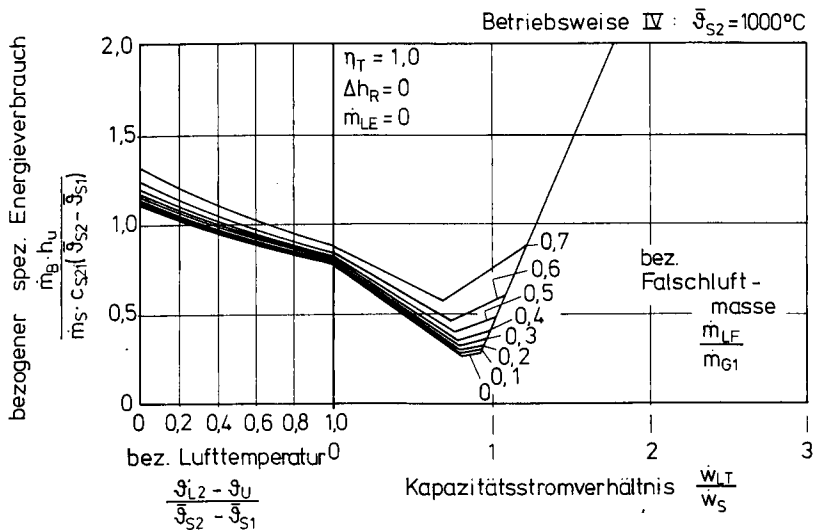


Bild 9:

Bezogether spezifischer Energieverbrauch als Funktion der vier Betriebsweisen, der vorgewärmten Luft oder des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut, für unterschiedliche bezogene Falschlufmassen.

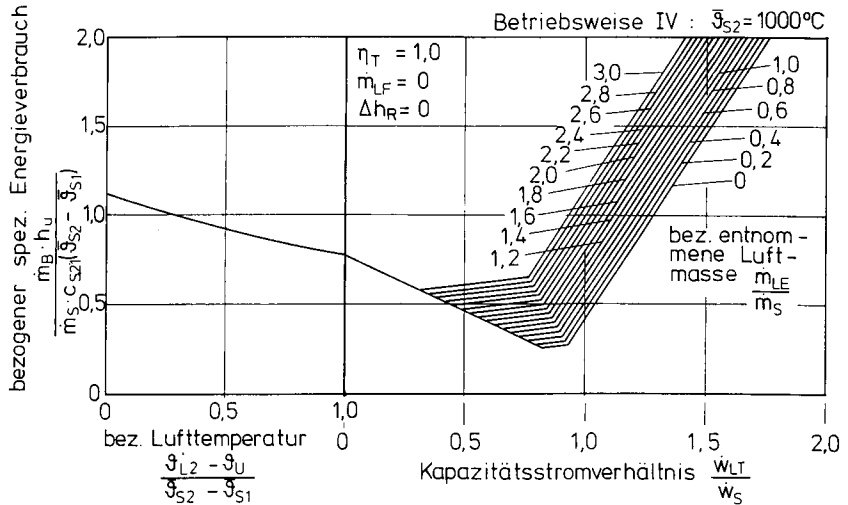


Bild 10:

Bezogener spezifischer Energieverbrauch als Funktion der vier Betriebsweisen, der vorgewärmten Luft oder des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut, für verschiedene bezogene entnommene Luftmassen.

zu Solid. Mit Bild 8 wird zuerst der Einfluß des bei Tunnelofenprozessen erforderlichen Transportmittels untersucht [1]. Unter Transportmittel wird in dieser Arbeit sowohl der Ofenwagen als auch die Brennhilfsmitteln verstanden. Dieses Bild zeigt, daß mit steigender Transportmittelmenge und damit mit fallenden Werten von  $\eta_T$  der spezifische Energieverbrauch zunimmt. Allerdings kehrt sich im letzten Abschnitt dieser Einfluß um, weil eine Erhöhung der Transportmittelmenge einer Verringerung des gesamten Kapazitätsstromverhältnisses zwischen Gas und Feststoff entspricht.

Als nächste Einflußgröße wird die Falschlufmenge diskutiert. In Bild 9 wird als Parameter die auf die Abgasmenge bezogene Falschlufmenge variiert [1]. Diese Darstellung zeigt, daß mit zunehmender Falschlufmenge der Energieverbrauch ansteigt. Demgegenüber ist der Energieverbrauch der vierten Betriebsweise mit hohen Wärmeträgerluftmengen unabhängig von der Falschluf. Dieses Bild verdeutlicht, daß in den Betriebsbereichen I und II Falschlufanteile im Abgas bis zu 30% nur einen geringen Energiemehrverbrauch zur Folge haben. Jedoch ist zu beachten, daß sich der minimale Energieverbrauch mit höheren Falschlufanteilen zu kleineren Kapazitätsstromverhältnissen verschiebt.

Mit Bild 10 wird auf den Einfluß der Luftentnahme, z.B. zum Betreiben eines Trockners, eingegangen [1]. Als Parameter wird hier die auf das Gut bezogene entnommene Luftmenge variiert. Diese Darstellung zeigt, daß der Energieverbrauch der Betriebsweisen I und II unabhängig von der entnommenen Luftmenge ist. Dagegen steigt bei den Betriebsweisen III und IV mit größeren entnommenen Luftmengen der

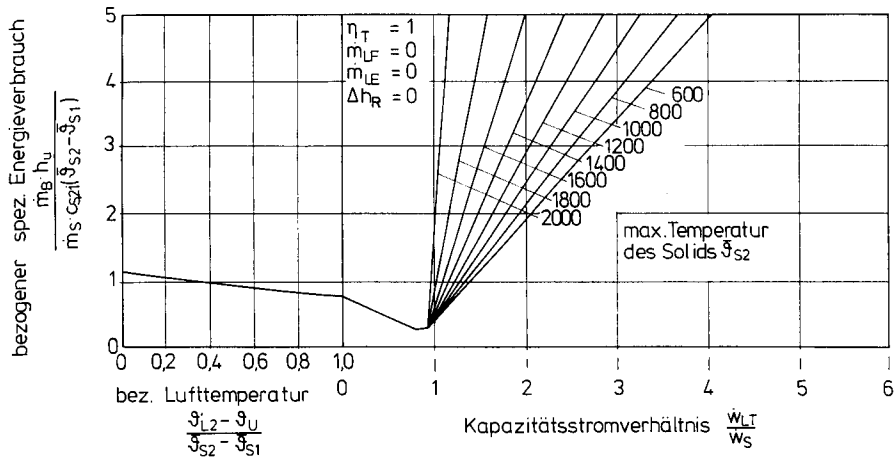


Bild 11:

Bezogener spezifischer Energieverbrauch als Funktion der vier Betriebsweisen, der vorgewärmten Luft oder des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut, für unterschiedliche maximale Brenntemperaturen des Solids.

Energieverbrauch des Ofens an. Der minimal erreichbare Energieverbrauch erhöht sich mit steigender Luftentnahme und verschiebt sich zu kleineren Kapazitätsstromverhältnissen Wärmeträgerluft zu Solid.

Mit Bild 11 wird schließlich der Einfluß der maximalen Brenntemperatur des Solids untersucht [1]. Bei den Betriebsweisen I bis III ist demnach der auf die maximale Brenntemperatur bezogene Energieverbrauch von dieser Einflußgröße unabhängig. Allerdings hat die maximale Brenntemperatur bei der Betriebsweise IV einen erheblichen zusätzlichen Einfluß auf den Energieverbrauch. Je höher diese Temperatur gewählt wird, desto größer wird der spezifische Energieverbrauch.

### Ermittlung der Abgasmenge

Bei Industrieöfen, bei denen das Gut mit der maximalen Temperatur dem Ofen entnommen wird, ist die erzeugte Abgasmenge stets proportional dem spezifischen Brennstoffverbrauch und erreicht gemeinsam mit diesem ein Minimum, wenn alle Möglichkeiten zur Verminderung des spezifischen Energieverbrauchs ausgeschöpft sind. Bei den in diesem Bericht behandelten Öfen mit einer Wärmerückgewinnung aus dem Gut gilt dieser Zusammenhang nicht mehr. Das Minimum des spezifischen Energieverbrauchs kann nämlich bei diesem Ofentyp nur dadurch erreicht werden, daß zusätzlich zur Verbrennungsluft Wärmeträgerluft eingesetzt wird. Mit dieser wird die noch nicht ausgenutzte Wärme der Kühlzone in die Aufheizzone des Ofens zurückgeführt und dient dort zur Vorwärmung des Gutes. Als Folge dieser Maßnahme steigt

trotz Verminderung des spezifischen Energieverbrauches die Abgasmenge, in der die Wärmeträgerluft enthalten ist, an.

Bei Öfen, bei denen die Abgase anschließend gereinigt werden müssen, können dadurch zusätzliche Kosten für die Abgasreinigung entstehen. Es ist somit denkbar, daß das Minimum der Betriebskosten nicht mit dem Minimum des spezifischen Brennstoffverbrauchs zusammenfällt. Um dies genauer beurteilen zu können, muß die bei den einzelnen Betriebsweisen erzeugte Abgasmenge bekannt sein. Die bei den vier Betriebsweisen abgeführte Abgasmenge an der Stelle 1 ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$\frac{\dot{m}_{G1}}{\dot{m}_S} = \frac{1}{1 + \frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}}} \cdot \left[ \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_S} (1 + \Lambda \cdot L_{\min}) + \xi_{S,G} + \frac{\dot{m}_{LT}}{\dot{m}_S} \right]. \quad (23)$$

Für die erste Betriebsweise ist die Wärmeträgerluftmenge  $\dot{m}_{LT}/\dot{m}_S = 0$ , ansonsten gilt diese Gleichung unverändert für die übrigen drei Betriebsweisen. Wie groß die bezogene Abgasmenge ist, hängt im einzelnen vom spezifischen Brennstoffverbrauch  $\dot{m}_B/\dot{m}_S$  ab, der für die vier möglichen Betriebsweisen bereits hergeleitet wurde. Besonders übersichtliche Zusammenhänge erhält man, wenn man die Grenzfälle für den spezifischen Energieverbrauch mit den Gleichungen (33) bis (36) zugrundelegt. Mit den bereits getroffenen Vereinfachungen

keine Falschluf mit  $\frac{\dot{m}_{LF}}{\dot{m}_{G1}} = 0$  und

kein Gas im Gut  $\xi_{S,G} = 0$

ergeben sich aus Gleichung (23) als wesentliche Einflußgrößen auf die spezifische Abgasmenge für die vier Betriebsweisen:

#### Betriebsweise I:

$$\left[ \frac{\dot{m}_{G1}}{\dot{m}_S} \right]_I = f \left( \frac{\vartheta'_{L2} - \vartheta_{L3}}{\vartheta_{S2} - \vartheta_{S1}}, \frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\vartheta_{S2} - \vartheta_{S1})} \right)$$

#### Betriebsweise II:

$$\left[ \frac{\dot{m}_{G1}}{\dot{m}_S} \right]_{II} = f \left( \frac{\dot{w}_{LT}}{\dot{w}_S}, \frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\vartheta_{S2} - \vartheta_{S1})} \right)$$

#### Betriebsweise III:

$$\left[ \frac{\dot{m}_{G1}}{\dot{m}_S} \right]_{III} = f \left( \frac{\dot{w}_{LT}}{\dot{w}_S}, \frac{\Delta h_R}{c_{S,21} \cdot (\vartheta_{S2} - \vartheta_{S1})} \right)$$

#### Betriebsweise IV:

$$\left[ \frac{\dot{m}_{G1}}{\dot{m}_S} \right]_{IV} = f \left( \frac{\dot{w}_{LT}}{\dot{w}_S} \right)$$

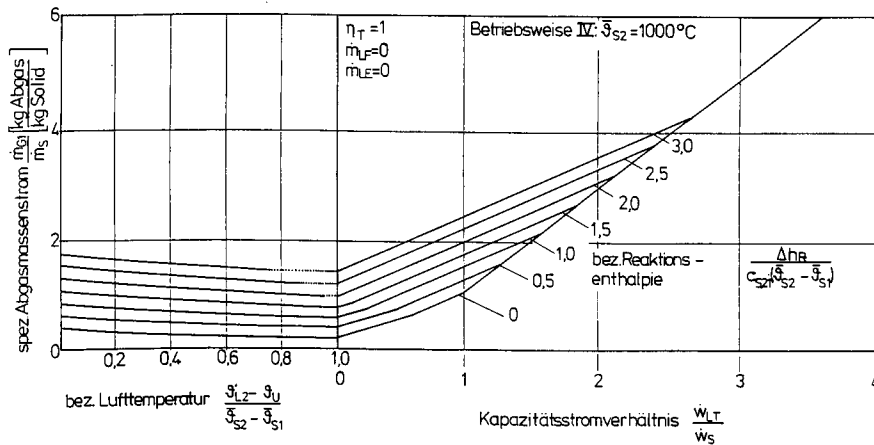


Bild 12:

*Spezifische Abgasmenge als Funktion der vier Betriebsweisen, der vorgewärmten Luft oder des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut, für verschiedene relative Reaktionsenthalpien.*

Das Verhalten der spezifischen Abgasmenge ist in *Bild 12* für die Betriebszustände des Bildes 6 ohne Transportmittel, Falschluf und Luftentnahme bei einer maximalen Brenntemperatur von  $\vartheta_{s2} = 1000^\circ\text{C}$  wiedergegeben. Aufgetragen ist in dieser Darstellung die auf das Solid bezogene Abgasmenge  $\dot{m}_{G1}/\dot{m}_s$  über der relativen Temperatur der vorgewärmten Luft bzw. dem Kapazitätsstromverhältnis Wärmeträgerluft zu Solid. Parameter ist die bezogene Reaktionsenthalpie. Das Minimum der Abgasmenge wird am Ende der ersten Betriebsweise mit  $\dot{w}_{LT}/\dot{w}_s = 0$  erreicht, während das Minimum des spezifischen Energieverbrauchs am Ende der Betriebsweise II liegt. Bei dieser steigt die Abgasmenge durch den hohen Wärmeträgerluftanteil an. Bei den Betriebsweisen III und IV steigt die Abgasmenge weiter an. Der größte Anstieg ist bei der Betriebsweise IV gegeben, für den es nur noch eine einzige Kurve gibt. In diesem Abschnitt ist die Abgasmenge unabhängig von der spezifischen Reaktionsenthalpie und hängt wesentlich nur noch vom Kapazitätsstromverhältnis Wärmeträgerluft zu Solid ab.

### Berechnung der Temperaturen

Mit den vorstehenden Beziehungen können jetzt auch die noch unbekannten Temperaturen berechnet werden. Es sind dieses je nach Betriebsweise

- die Ausfahrtemperatur des Gutes  $\vartheta_{s3}$
- die Temperatur der vorgewärmten Luft  $\vartheta'_{L2}$
- die kalorische Verbrennungstemperatur  $\vartheta'_{G2}$
- sowie die Abgastemperatur  $\vartheta_{G1}$ .



Zur besseren Übersicht ist in der folgenden *Tabelle 3* dargestellt, welche dieser Temperaturen bei den einzelnen Betriebsweisen zu berechnen sind und welche vorgegeben werden.

*Tabelle 3: Zu berechnende Temperaturen für die Betriebsweisen*

	$\bar{\vartheta}_{S3}$	$\vartheta'_{L2}$	$\vartheta'_{G2}$	$\vartheta_{G1}$
Betriebsweise I	berechnen	vorgegeben	berechnen	vorgegeben
Betriebsweise II	berechnen	vorgegeben	berechnen	vorgegeben
Betriebsweise III	vorgegeben	berechnen	berechnen	vorgegeben
Betriebsweise IV	vorgegeben	berechnen	vorgegeben	berechnen

Zur Berechnung dieser Temperaturen stehen die Bilanzgleichungen (1), (4) und (5) zur Verfügung. Dabei ist davon auszugehen, daß jetzt die Brennstoffmenge  $\dot{m}_B$  sowie alle Gasmengen  $\dot{m}_G$  und  $\dot{m}_L$  für die vier möglichen Betriebsweisen bekannt sind.

Zu beginnen ist stets mit der Berechnung der Temperatur der vorgewärmten Luft, sofern diese nicht vorgegeben ist, aus der Energiebilanz (4):

$$\vartheta'_{L2} = \vartheta_U + \frac{\frac{\dot{m}_S \cdot c_{S,32} \cdot (\bar{\vartheta}_{S2} - \bar{\vartheta}_{S3})}{\eta_T} - \dot{Q}_{V,K}}{\dot{m}_{L2} \cdot c_{L2}} \quad (39)$$

Nach der Bestimmung der Temperatur der vorgewärmten Luft kann aus der Energiebilanz (5) die kalorische Verbrennungstemperatur mit der folgenden Beziehung ermittelt werden:

$$\vartheta'_{G2} = \frac{\dot{m}_B \cdot h_u + \dot{m}_{L2} \cdot c_{L2} \cdot \vartheta'_{L2}}{\dot{m}_{G2} \cdot c_{G2}} \quad (40)$$

Schließlich kann je nach Betriebsweise die Ausfahrtemperatur des Solids oder die Abgastemperatur jeweils aus der Energiebilanz (1) bestimmt werden. Für die Ausfahrtemperatur des Solid erhält man folgende Gleichung:

$$\begin{aligned} \bar{\vartheta}_{S3} = \bar{\vartheta}_{S1} \\ + \frac{(\dot{m}_B \cdot h_u - \dot{m}_S \cdot \Delta h_R - \dot{m}_{G1} \cdot c_{G,13} \cdot (\vartheta_{G1} - \vartheta_{G3}) - \dot{m}_{LE} \cdot c_{LE,E3} \cdot (\vartheta_{LE} - \vartheta_{G3}) - \dot{Q}_V) \cdot \eta_T}{\dot{m}_S \cdot c_{S,31}} \end{aligned} \quad (41)$$

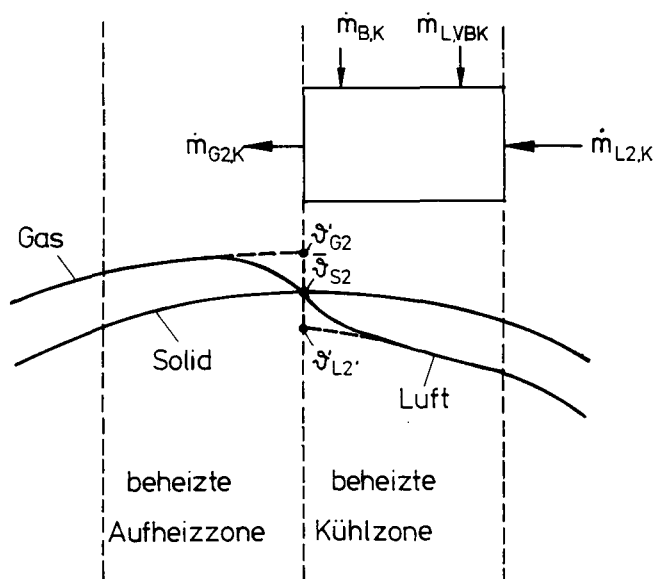
Für die Abgastemperatur ergibt sich die folgende Beziehung:

$$\begin{aligned} \vartheta_{G1} = \vartheta_{G3} \\ + \frac{\dot{m}_B \cdot h_u - \frac{\dot{m}_S \cdot c_{S,31} \cdot (\bar{\vartheta}_{S3} - \bar{\vartheta}_{S1})}{\eta_T} - \dot{m}_S \cdot \Delta h_R - \dot{m}_{LE} \cdot c_{LE,E3} \cdot (\vartheta_{LE} - \vartheta_{G3}) - \dot{Q}_V}{\dot{m}_{G1} \cdot c_{G,13}} \end{aligned} \quad (42)$$

### Brennstoffaufteilung in Kühl- und Aufheizzone

Die vorhergehenden Ausführungen haben bereits gezeigt, daß ein Teil des benötigten Brennstoffes vor Erreichen der maximalen Guttemperatur  $\bar{\vartheta}_{S2}$  zugeführt wird und der übrige Brennstoff hinter diesem Maximum. Da der Prozeß an der Stelle dieses Maximums in Aufheizzone und Kühlzone unterteilt wird, ist in der Regel in beiden Zonen Brennstoff zuzuführen. Für die Auslegung solcher Öfen ist die Frage von Bedeutung, von welchen Parametern die Art dieser Aufteilung abhängig ist. Dazu wird in *Bild 13* der beheizte Teil des Ofens nochmals wiedergegeben. Die durchgezogene Kurve für  $\vartheta_G$  gibt den wirklichen Verlauf des Gases bzw. der Kuhlluft wieder und die gestrichelte Kurve den idealen Verlauf für den theoretischen Grenzfall, wenn der Brennstoff in einer einzigen Ebene zugeführt wird. Der Schnittpunkt beider Kurven mit dem Temperaturverlauf des Gutes entspricht dem Maximum der letztgenannten Kurve. Der zuzuführende Brennstoff erfüllt also die Aufgabe, die unter der Solidkurve liegende Temperaturkurve für die Kuhlluft über die erstgenannte zu heben. Die Aufteilung an Brennstoff auf die beiden Ofenteile muß sich aus den Temperaturdifferenzen  $\vartheta'_{G2} - \bar{\vartheta}_{S2}$  bzw.  $\bar{\vartheta}_{S2} - \vartheta'_{L2}$  ergeben.

Für die Brennstoffaufteilung ist von der Gasbilanz der beheizten Kühlzone auszugehen, in der die Gastemperatur gerade die maximale Solidtemperatur mit  $\vartheta_{G2} = \bar{\vartheta}_{S2}$  erreicht. Unter der Voraussetzung, daß die Luftmenge  $\dot{m}_{L,VBK}$ , die über die Brenner



*Bild 13:*  
Aufteilung des Ofens in beheizte Aufheiz- und beheizte Kühlzone  
sowie Massenbilanz der beheizten Kühlzone.

direkt aus der Umgebung zugeführt wird, nicht vorgewärmt ist, lautet diese Energiebilanz

$$\dot{m}_{B,K} \cdot h_u + \dot{m}_{L,2K} \cdot c'_{L2} \cdot \vartheta'_{L2} = \dot{m}_{G2,K} \cdot c_{G2} \cdot \bar{\vartheta}_{S2}, \quad (43)$$

wobei jetzt die Abgasmenge am Temperaturmaximum des Brenngutes durch die Beziehung

$$\dot{m}_{G2,K} = \dot{m}_{B,K} + \dot{m}_{L,VK} + \dot{m}_{L,VBK} + \dot{m}_{LT} \quad (44)$$

und die Luftmenge aus der Kühlzone durch die Beziehung

$$\dot{m}_{L,2K} = \dot{m}_{L,VK} + \dot{m}_{LT} \quad (45)$$

gegeben ist. Mit den stöchiometrischen Gleichungen für die Verbrennungsluft aus der Kühlzone

$$\dot{m}_{L,VK} = \dot{m}_B \cdot \Lambda_K \cdot L_{\min} \quad (46)$$

sowie der Verbrennungsluftmenge über die Brenner

$$\dot{m}_{L,VBK} = \dot{m}_{B,K} \cdot \Lambda_B \cdot L_{\min} \quad (47)$$

erhält man somit aus Gleichung (43):

$$\frac{\dot{m}_{B,K}}{\dot{m}_B} = \frac{\frac{\dot{m}_{LT}}{\dot{m}_S} \cdot \frac{\dot{m}_S}{\dot{m}_B} \cdot (c_{G2} \cdot \bar{\vartheta}_{S2} - c_{L2} \cdot \vartheta'_{L2}) + \Lambda_K \cdot L_{\min} \cdot (c_{G2} \cdot \bar{\vartheta}_{S2} - c_{L2} \cdot \vartheta'_{L2})}{h_u - (1 + \Lambda_B \cdot L_{\min}) \cdot c_{G2} \cdot \bar{\vartheta}_{S2}} \quad (48)$$

Für den Brennstoffverbrauch links vom Temperaturmaximum in der Aufheizzone folgt entsprechend

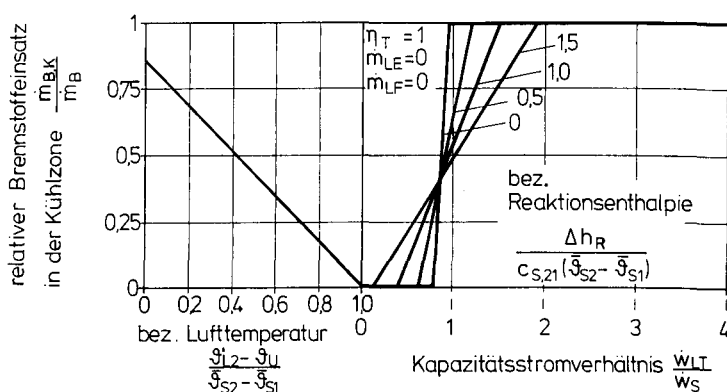


Bild 14:

Relativer Brennstoffeinsatz in der Kühlzone als Funktion der vier Betriebsweisen, der vorgewärmten Luft oder des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Gut, für verschiedene relative Reaktionsenthalpien.

$$\frac{\dot{m}_{B,A}}{\dot{m}_B} = 1 - \frac{\dot{m}_{B,K}}{\dot{m}_B} \quad (49)$$

Mit *Bild 14* werden diese Zusammenhänge grafisch dargestellt. Aufgetragen ist hier der relative Brennstoffeinsatz im beheizten Teil der Kühlzone in Abhängigkeit von der Temperatur der vorgewärmten Luft bzw. des Kapazitätsstromverhältnisses Wärmeträgerluft zu Solid. Parameter ist in dieser Darstellung die spezifische Reaktionsenthalpie. Es wird deutlich, daß der Brennstoffeinsatz in der Kühlzone bei der Betriebsweise I je nach der Temperatur der vorgewärmten Luft von 84,2% ohne Luftvorwärmung auf 0% bei Luftvorwärmung von  $\vartheta'_{L2} = \bar{\vartheta}_{S2}$  zurückgeht. Bei der Betriebsweise II bleibt der Brennstoffeinsatz im Bereich der Kühlzone Null. Der gesamte Brennstoff muß dann in der Aufheizzone zugeführt werden. Bei der dritten Betriebsweise verschiebt sich der Brennstoffeinsatz in zunehmendem Maße von der Aufheizzone in die Kühlzone. Bei der Betriebsweise IV muß schließlich der Brennstoff vollständig in der Kühlzone zugeführt werden. Die qualitativen Temperaturverläufe in *Bild 5* verdeutlichen dieses Verhalten. Je nach der Betriebsweise der einzelnen Öfen sind also die Brenner entsprechend anzuordnen. Für eine weitergehende Betrachtung sind jetzt sowohl die Aufheizzone als auch die Kühlzone in je einen beheizten Teil und einen unbeheizten Teil zu unterteilen. Über entsprechende Teilbilanzen erhält man Aussagen über die einander zugeordneten Temperaturen von Gas bzw. Luft und Gut an den Grenzen zwischen beheiztem und unbeheiztem Teil dieser beiden Zonen. Die Verteilung des Brennstoffes innerhalb der beiden beheizten Zonenabschnitte ist schließlich nach dem gewünschten Temperaturverlauf festzulegen.

### Zusammenfassung

Industrieöfen mit Wärmerückgewinnung aus dem Gut gehören zu solchen Prozessen, bei denen das Gut unmittelbar nach einer thermischen Behandlung bei hohen Temperaturen wieder auf Raumtemperatur abgekühlt wird. Die Ofenanlage besteht in solchen Fällen aus dem eigentlichen Ofenteil und einem Kühler, wobei letzterer, z. B. bei Tunnelöfen, baulich in den Ofen integriert ist. Die grundsätzlichen Zusammenhänge der Prozeßoptimierung und der Auslegung solcher Ofenprozesse, besonders im Hinblick auf die Wärmerückgewinnung aus dem Gut und auf die Verminderung des spezifischen Energieverbrauches, sind Gegenstand dieses Berichtes. Die Wärme kann aus dem Gut zurückgewonnen werden, indem die Verbrennungsluft unter Nutzung eines Teiles der Wärme aus dem Kühlprozeß vorgewärmt und indem zusätzlich die Kühlwärme mit Hilfe von Wärmeträgerluft zur Vorwärmung des Gutes verwendet wird. Auf die Nutzung dieser Wärme aus dem Kühlprozeß bei gleichzeitiger Verminderung des spezifischen Energieverbrauches wird in besonderem Maße in diesem Bericht eingegangen. In diesem Zusammenhang werden für die verschiedenen Betriebsweisen unter anderem der Einfluß chemischer Reaktionen im Gut, des Transportmittels, der Falschluff, der Luftentnahme sowie der Einfluß der maximalen Prozeßtemperatur

erläutert. Abschließend wird auf die notwendige Brennstoffaufteilung in der Kühl- bzw. Aufheizzone eingegangen.

### Literatur

- [1] Jeschar, R., Bittner, H.-G.: Möglichkeiten zur Optimierung von Tunnelofenprozessen für die Ziegelindustrie – Qualitätsverbesserung und Verminderung des Energieverbrauches. Ziegelindustrie International 42 (1989) 10, S. 546–552.
- [2] Jeschar, R., Bittner, H.-G.: A Mathematical Model for Layout and Optimization of Tunnel Furnace Processes in the Field of Ceramic Industry. Proceedings of the 12th IMACS World Congress on Scientific Computation, July 18–22, 1988, Paris.
- [3] Jeschar, R., Specht, E., Bittner, H.-G.: Wärmebehandlungsanlagen und -öfen. Aus: Handbuch der Fertigungstechnik Band 4/2, S. 649–714, G. Spur, Carl-Hanser-Verlag, München, Wien.
- [4] Jeschar, R., Pötke, W., Wagner, R.: Maßgebliche Kenngrößen für den Energieverbrauch beim Brennprozeß in Tunnelöfen der Ziegelindustrie. Ziegelindustrie International 36 (1983) 8, S. 385–396.
- [5] Pötke, W., Jeschar, R.: Möglichkeiten zur Minimierung des Energieeinsatzes bei pyrometallurgischen Prozessen (Teil I). Erzmetall 35 (1982) 3, S. 124–130.
- [6] Jeschar, R., Frisch, V., Wagner, R.: Industrieöfen mit Wärmerückgewinnung aus dem Wärmegut. Thermoprozeß und Abfalltechnik, Vulkan-Verlag, 2. Ausgabe, Essen.

## Zu den Wurzeln der Modernen Architektur, Teil II \*

Von Harmen Thies

Die Rückbesinnung auf das vitruvianische Begriffssystem hatte zu dem Ergebnis geführt, daß für die Architektur der ›Moderne‹ zwei Begründungsebenen sorgfältig zu unterscheiden sind. Die eine läßt sich als begrifflich argumentativ entwickeltes Ideologengebäude fassen, dessen Grundzüge durch den Rekurs auf die determinierend oder auch generierend gedachten Komplexe der Konstruktion (Vitruvs *firmitas*) und Funktion (seine *utilitas*) weitgehend fixiert waren. Vor allem auch die Geschichtsschreibung der ›Moderne‹ (denken Sie etwa an Sigfried Giedion und auch noch Jürgen Joedicke) hat in diesen beiden Momenten das unterscheidende Kriterium der Architektur nach dem ersten Weltkrieg sehen wollen [45].

Die andere Begründungsebene dagegen läßt sich im Anschluß an Vitruvs *venustas*-Begriff in einer spezifisch ›modernen‹ Weise des Konfigurierens architektonischer Gestalten fassen, über deren Eigenart und Genese jetzt zu reden ist. Daß dieses Moment für die adäquate Beurteilung der ›Moderne‹ weit tragfähiger ist als das Suchen nach konstruktiven oder funktionalen Determinanten, hatte mit einem Hinweis auf den Barcelona-Pavillion (Abb. 17–19) bereits konstatiert aber noch nicht im einzelnen nachgewiesen werden können.

Auch in der ›Moderne‹ haben wir es in erster Linie mit Fragen der Konfiguration, dem Prozeß des Entwerfens also und seiner Genese zu tun. Nicht das ›Fehlen‹ der *venustas*, sondern ihre vollkommen andere Bestimmtheit bezeichnet den Unterschied gegenüber dem vorausgehenden Jugendstil und der nachfolgenden Post-Moderne, deren Eigen-Charakter im übrigen ja noch keineswegs ausgemacht ist. Noch einmal seien zwei achsialsymmetrisch organisierte und am Leitbild figuralen Aufbaus orientierte Architekturen des Jugendstil (Abb. 20) und der Post-Moderne (Abb. 21) gezeigt, um die evidente Sonderstellung architektonischer Figurationen der eigentlichen ›Moderne‹ an ihrem Gegenbild um so deutlicher werden zu lassen.

Zwei charakteristische Werke der bildenden, im Wortsinn ein Bild schaffenden, Künste der klassischen ›Moderne‹ können hier weiterhelfen und die Architektur jener Zeit in ein überraschend andersartiges Licht stellen (Abb. 22, 23). In beiden Fällen, in Wassilij Kandinsky's „Gelb-Rot-Blau“ (1925) und in dem „Licht-Raum-Modulator“ von Moholy-Nagy (1922–30) ist die Konfiguration durch eine ebenso dichte wie komplexe Fügung elementarer Gliedeinheiten bestimmt, deren wechselseitiges In-Relation-Setzen und Teilfiguren-Bilden als das konstitutive Moment der konkreten Bildwirklichkeit selbst zunächst gesehen und dann – reflektierend – auch begriffen werden kann [46]. Weder im Ganzen noch in den Teilen, weder in der Konfiguration noch in den

\* Der erste Teil dieser Darstellung ist im Jahrbuch 1988 der BWG, S. 123–153, erschienen. Anmerkungen und Abbildungen sind im Anschluß an diesen Teil I weitergezählt.



Abb. 20:  
*Paul Cauchie, Brüssel, Eigenes Haus, rue des Francs 5, 1905*



Abb. 21:

*Hans Hollein, Wien, Juweliergeschäft Schullin III, 1984*

Bild- oder Konstruktionselementen selbst werden vorgeformte und damit erinnern- oder assoziierbare Bildwelten aktualisiert. Ganz im Gegenteil; die Teile wie ihre Fügung erscheinen eigenständig-elementar, nicht ableitbar, mit einem Wort: *autonom* [47]. Sie sind einzig und allein der eigenen, im Hier und Jetzt ebenso konstituierten wie realisierten Gesetzlichkeit anschaulicher Konfiguration unterworfen, einer Gesetzlichkeit allerdings, die außerhalb der Bild- bzw. Gebilde-Grenzen jede Gültigkeit verlieren muß, da sie unabweislich an die Existenz der diese Gesetzlichkeit allererst hervorbringenden konkreten Konfiguration gebunden bleibt.



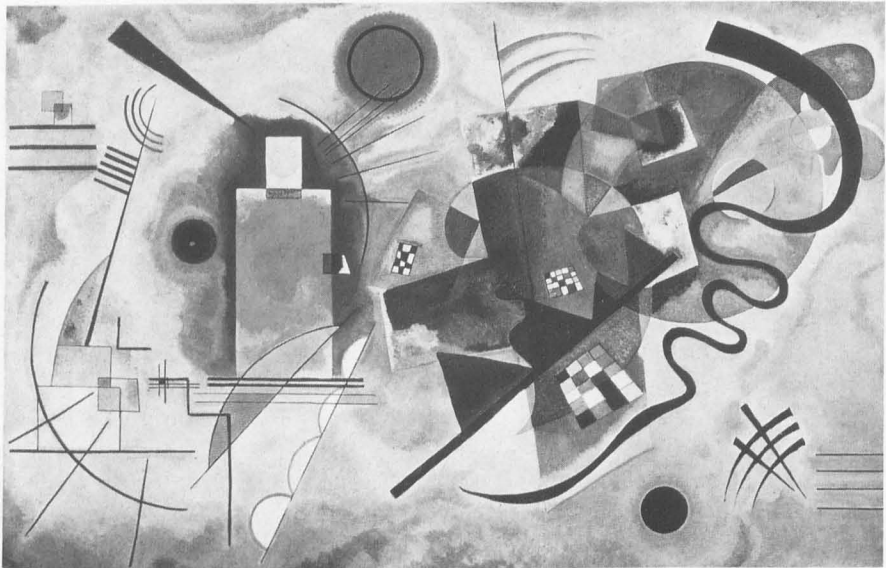


Abb. 22:  
Wassily Kandinsky, „Gelb-Rot-Blau“, 1925 (Neuilly-sur-Seine)

Im Vergleich mit diesen Bildbeispielen wird evident, daß die Konfiguration des Gebildes „Barcelona-Pavillion“ nach Maßgabe des hier Beobachteten und zu Beschreibenden analysiert und beurteilt werden sollte, auf jeden Fall nicht oder allenfalls in zweiter und dritter Linie nach konstruktiven und funktionalen Kriterien. So muß denn auch zumindest erwähnt werden, daß das Grundrißbild des Barcelona-Pavillons (Abb. 17) und die charakteristische Konfiguration des Gebildes aus isolierten, ihren Elementcharakter deutlich und klar zur Schau stellenden Teileinheiten, zumal den Wand- und Deckenscheiben, mit Konzeptionen und Bildern der De-Stijl-Gruppe (Abb. 24) verglichen werden müßte [48]. Auch dort würde sich zeigen, daß das Moment der *venustas* nicht anders als hier bei Mies van der Rohe dominant gesetzt ist.

Abermals ist es Le Corbusier, der uns mit einer außerordentlich wichtigen und bekannten Serie von Schema-Skizzen (Abb. 25) Einblick in Prinzipien und System zumindest seines ›modernen‹ Entwerfens und Konfigurierens gewinnen läßt; nicht vergleichbar mit seinen „Fünf Punkten“, die (wie zu zeigen war) ein konstruktives Grundkonzept entfalteten; auch nicht an funktionalen Überlegungen orientiert; sondern jetzt einzig und allein auf eine Systematik spezifischer Entwurfsentscheidungen gerichtet, die unmittelbar ihren Niederschlag in der konkreten Gestalt einer tatsächlich gebauten Architektur finden konnten [49]. Wie zur Erläuterung können die Entwurfszeichnungen Le Corbusiers für eine Serie kleiner Atelierhäuser aus dem Jahre 1924 (Abb. 26) neben diese Kompositionsanweisungen gestellt werden [50].

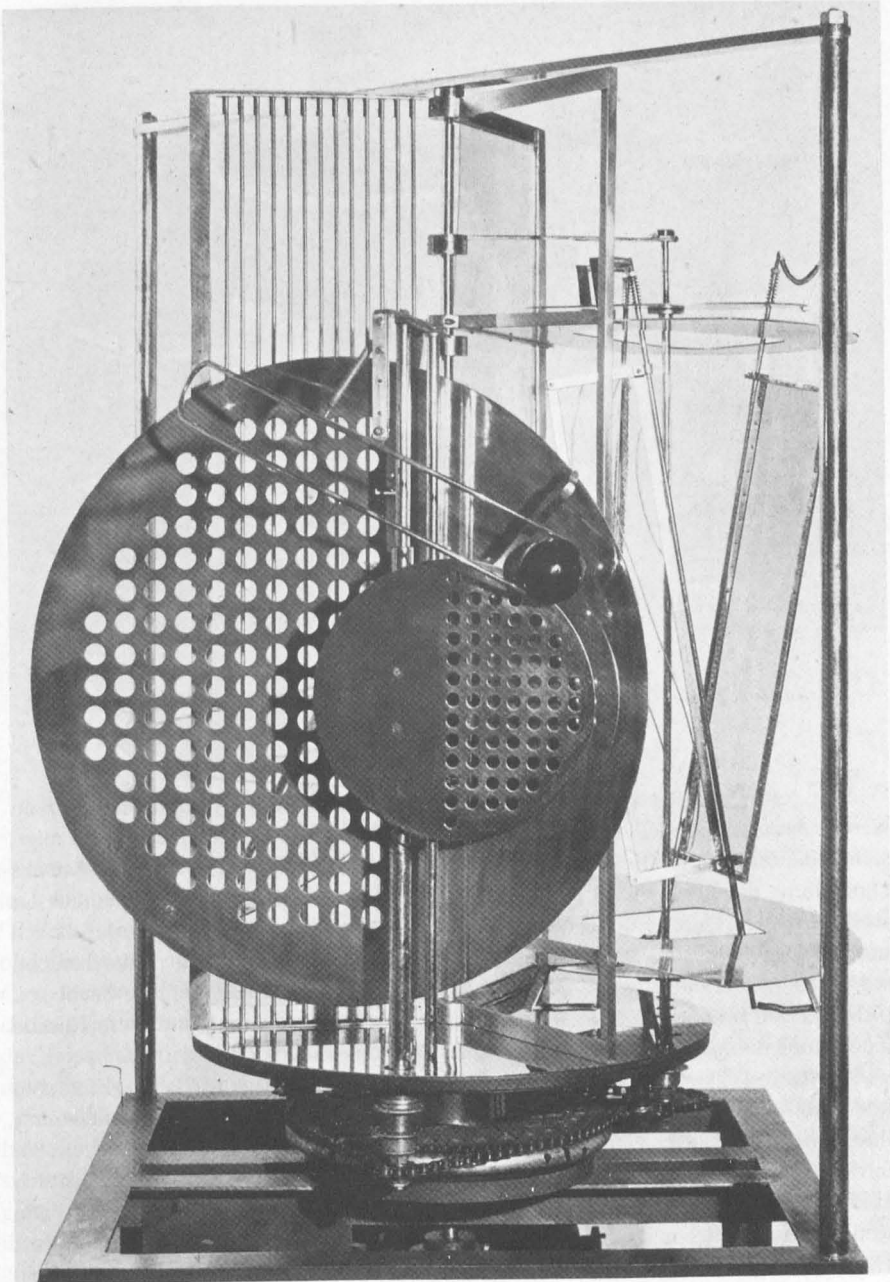


Abb. 23:

*László Moholy-Nagy, „Licht-Raum-Modulator“, 1922–1930 (Cambridge, Mass.)*

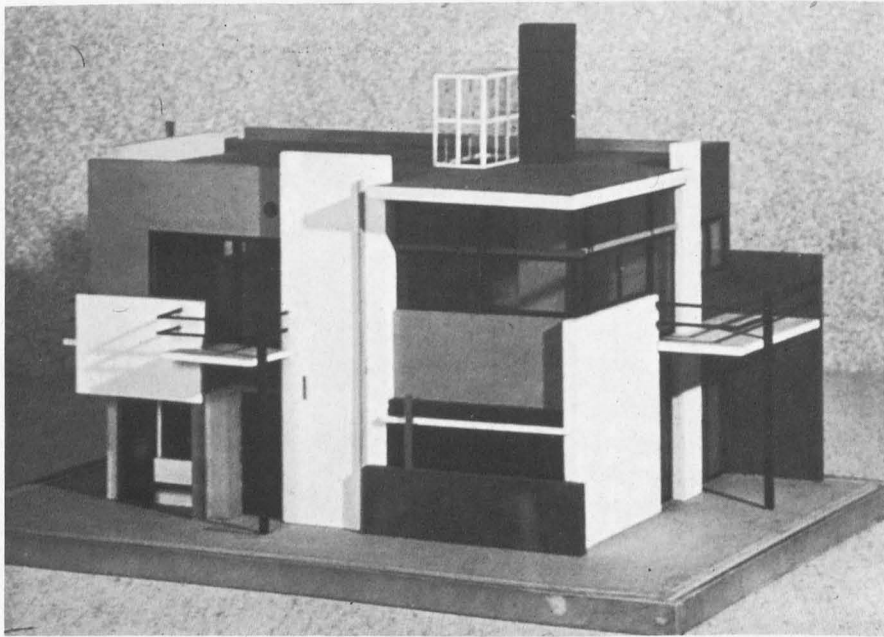


Abb. 24:

*Gerrit Rietveld, Utrecht, Haus Schröder (Modell, Amsterdam, Stedelijk Museum), 1924*

Vier, offensichtlich im Sinne einer Sequenz zu lesende Kompositionsskizzen werden zusammengestellt und miteinander verglichen. Wie die Klammer bereits zeigt, stehen die drei unteren Beispiele unter ein und demselben Begriff, während die obere Darstellung davon abgesetzt wird. Hier heißt es (unschwer ist das Doppelhaus La Roche/Jeanneret, die heutige Fondation Le Corbusier, wiederzuerkennen), daß es sich um eine Disposition im Sinne „pyramidaler Komposition“ handele, die rechts daneben sogleich näher erläutert wird. Dort steht, daß dies eine ziemlich einfache Sache sei, pittoresk und bewegt, die man in jedem Falle durch Klassifizieren und hierarchische Zuordnung disziplinieren könne [51]. Damit wird dann auch der Begriff „*composition pyramidale*“ verständlich, der offensichtlich nichts anderes besagt, als daß die Elemente und Untereinheiten dieser Architektur durch das Unterscheiden (die „*classification*“) ihres jeweiligen Ranges eine Position im Gefüge des Ganzen zugewiesen erhalten, die im Ergebnis zu einer Hierarchie dieser Kompositionselemente führt; offensichtlich eine Vorgehensweise, die Le Corbusier wenig schätzt, obwohl (oder besser: gerade weil) sie als ziemlich einfach gelten kann und zu pittoresk bewegten Resultaten führt. Hier ist denn auch zu erwähnen, daß nicht etwa ein ideelles Entwurfskonzept, sondern allein Erschließungs-, Parzellierungs- und Orientierungsprobleme Le Corbusier veranlaßt, ja fast ›gezwungen‹ hatten, in diesem Einzelfalle die weniger anspruchsvolle, in

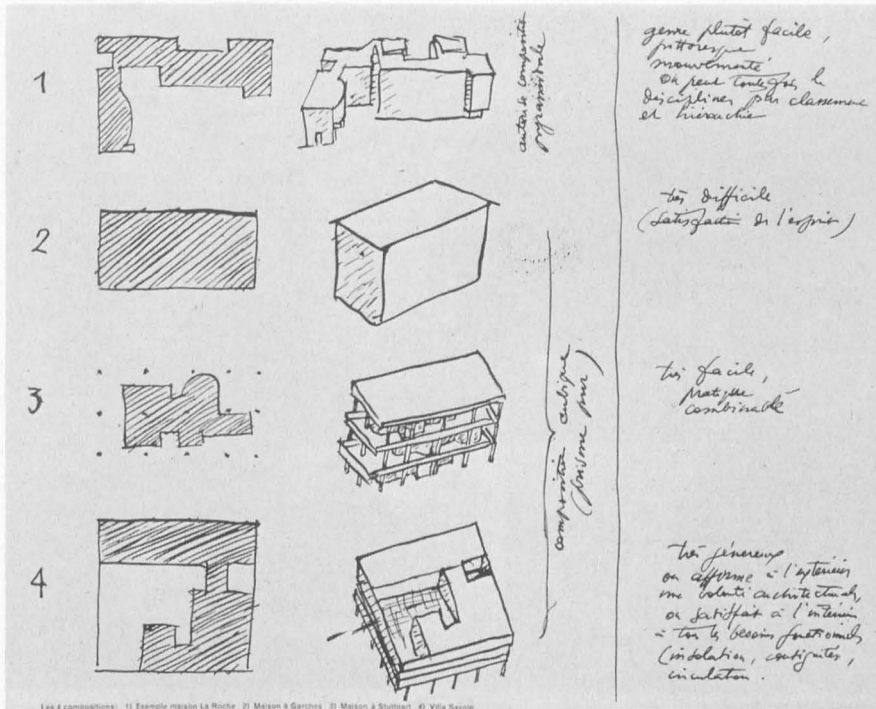


Abb. 25:  
Le Corbusier, „Les 4 compositions“, 1929

seinen Augen wohl allzu simple Entwurfsmethode des pittoresk-bewegten Disponierens distinkter Teileinheiten überhaupt zu wählen [52].

Sein Interesse gilt vielmehr ganz eindeutig dem in der zweiten Skizze fixierten Leitbild der (wie es neben der Klammer heißt) „composition cubique“: dem reinen Kubus („prisme pur“) [53]. Ein Seitenblick auf den Atelierhausentwurf und analoge Vergleiche mit Entwürfen Le Corbusiers zumindest der zwanziger Jahre stellen sogleich sicher, daß seine Entwurfskonzeptionen tatsächlich von diesem reinen Kubus als einer primären Setzung im Entwurfsprozeß her zu erklären und genetisch zu entwickeln sind [54]. „Très difficile“ sei ein derartiger Ausgang des Entwerfens vom reinen Kubus, doch führe er zur „satisfaction de l'esprit“. Während der eine, ungegliederte Kubus als realisierte Architektur bei Corbusier gar nicht vorkommt, kann – wie jeder weiß – das Ausgehen von kubischen Leitformen als ein konstitutives Moment seines Entwerfens immer neu bestätigt werden [55].

Auch die dritte und vierte Skizze zur Darstellung methodischen Entwerfens verweisen auf tatsächlich realisierte bzw. detailliert entworfene Architekturen: Die dritte zeigt den Ausführungs-Entwurf für eine Villa in Karthago aus dem Jahre 1929 und die vierte

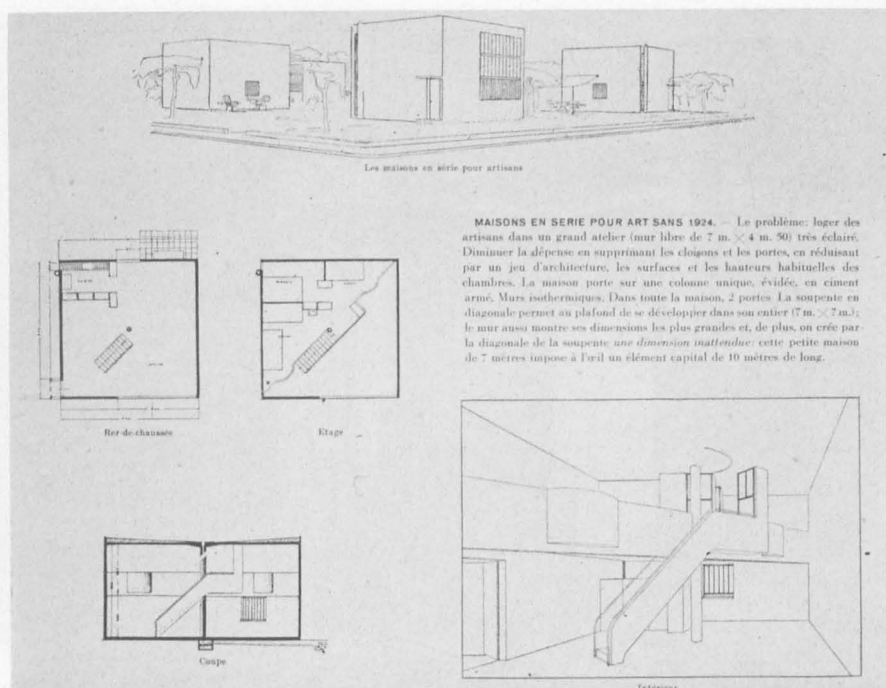


Abb. 26:

Le Corbusier, „Maisons en série pour artisans“, 1924

die berühmte Villa Savoye aus demselben Jahr [56]. Im Rahmen der Arbeit an diesem Projekt werden die so außerordentlich aufschlußreichen Skizzen und Kommentare zur Einführung in eine gestalterorientierte Entwurfsmethodik (im Sinne der Vitruvianischen *venustas* also) entstanden sein.

Das „*pilotis*“-Platten-Skelett der Villa in Karthago ist als konstruktives System bereits mit dem ersten und zugleich entscheidenden der „Fünf Punkte“ Le Corbusiers erklärt, so daß die Raumkonfiguration als ein Resultat des „*plan libre*“ zu beschreiben wäre. Festzuhalten bleibt, daß die aus Einzelementen aufgebaute Stütz-Platten-Struktur als Binnengliederung eines „*prisme pur*“ vorzustellen ist, womit das Konzept des Lever-Hauses von Gordon Bunshaft (Abb. 9) hier bereits zu fassen wäre. Diese Vorgehensweise wird als „sehr leicht, praktisch und kombinationsfähig“ gekennzeichnet [57].

Auch Le Corbusier findet offenbar das vierte Konzept mit den Skizzen zur Villa Savoye in Poissy bei Paris am interessantesten. „Sehr großartig“ notiert er am Rande, „am Äußeren wird ein architektonisches Wollen manifest, (während) im Inneren allen funktionalen Ansprüchen genüge getan ist“; er nennt „Besonnung, Raumdisposition (und) Erschließung“ [58]. Ganz offenkundig versteht er diesen Entwurf als eine komplex verdichtete Summe aus der Leitgestalt des reinen Kubus, dem Konstruktionssystem der Villa in Karthago und der funktional bestimmten Konglomeration, für die



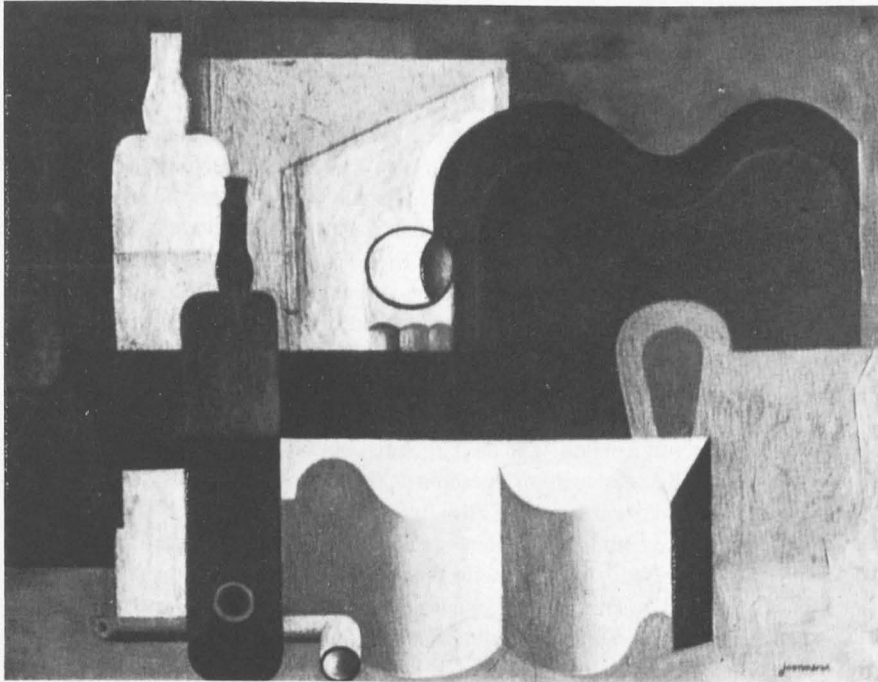


Abb. 27:  
Le Corbusier, „Nature morte“, 1920/22

das Beispiel der Doppelvilla La Roche/Jeanneret stehen kann, deren Gliedeinheiten klassifizierend einander zugeordnet sind und deren allgemeine Disposition zugleich eine überraschende Ähnlichkeit mit den funktional konzipierten Binnenbaulichkeiten der Savoye-Skizze aufweist. Das heißt: auch in diesem ja lediglich skizzierten Konzept zur Methodik des Entwerfens sind die konstitutiven Momente der vitruvianischen Tradition säuberlich aufgelistet und in der Villa Savoye zu einem Bild konkreter Architektur versammelt.

Ein Vergleich nun der ganz bildmäßig aufgefaßten Innenraumperspektive zu den Atelierhäusern von 1924 (Abb. 26) mit einem Bild des puristischen Malers Le Corbusier (Abb. 27), bewahrt uns vor dem zunächst ja naheliegenden Fehlschluß, der alles bergende, reine Kubus sei als die einzige, alles weitere präjudizierende Leitfigur seiner Architektur anzusehen [59]. Tatsächlich ist es nur die auffallendste und die weiße, kubische Architektur der zwanziger und dreißiger Jahre zweifellos zu wesentlichen Stücken auch prägende Form [60]. Mindestens so wichtig sind die „pilotis“-Systeme und die außerordentlich vielformige, mannigfach variierte Schar kubisch konzipierter Glied- und Binneneinheiten. Hier müssen besonders die zylindrischen bzw. aus Kreissegmenten aufgebauten Elemente, in unserem Falle die Zentralstütze mit ihrem flachen Kegel-

kopf innen und der Kamin neben dem Schlitzfenster außen, die Balustradenerker der Galerie und die gerundeten Lineamente der Treppenschrägen ins Auge fallen. Einfache, geometrische Grundfiguren und simple Kombinationen bestimmen ihren Aufbau, ganz im Sinne des „*prisme pur*“, der Leitform des Ganzen.

Wichtiger nun als das Bestimmen der zwei- nicht anders als dreidimensionalen Elemente dieser Architektur als Flächenfiguren bzw. Kuben prinzipiell und ausnahmslos geometrischer Konstruktion, ergiebiger auch als das Klassifizieren, Gruppieren und Auflisten dieser Einheiten nach Kategorie und Einsatz ist eine genaue Analyse ihrer Kombinationen zu je größerer, umfassenderer Einheit und Gestalt. Denn nicht die Elemente selbst, sondern allein das Gesetz ihres Aufbaus, die Methode wechselseitigen Bindens, die Bestimmung der Positionen, der Relationen und – darauf dann aufbauend – der komplexen Konfigurationen zur Gestalt der intendierten Architektur, kurz: die fiktive Rekonstruktion des als Sequenz und Prozeß begriffenen Entwerfens werden einen Einblick in seine Genese gewähren [61]. Auch ohne eine derartig ins Detail dringende Analyse hier vorzustellen, wird das Ergebnis angesichts der gezeigten Vergleichsbilder doch unmittelbar einleuchten; thesenartig sei es formuliert: Das Ziel einer Konfiguration Le Corbusiers wird stets im zweidimensional-planen, also bildmäßigen Versammeln, ja Verdichten einer dreidimensionalen Realität, sei sie vorgefunden, sei sie als Architektur entworfen, zu suchen sein. Wenn er also einen Bau entwirft, so zu ganz wesentlichen Stücken im Hinblick auf eben diese Bildwirkung. Und konstruiert er ein Bild, so im Hinblick auf seine potentielle raumkörperliche Entschlüsselung. Dies bildkonstruierende Entwerfen läßt sich in seinen Architekturen ebenso wie in seinen Bildern und Skulpturen aufdecken und analytisch sichtbar machen [62].

Zwei Hinweise werden diesen Sachverhalt deutlicher machen: Die in den großen Rahmen der (fortgedachten) Außenwand gezeichnete Raumperspektive des Atelierhauses (Abb. 26) birgt zwei charakteristische und (wie ich denke) für das soeben Genannte besonders aufschlußreiche ›Fehler‹. Daß es nicht ordinäre Fehler im Sinne einer mangelnden Kenntnis perspektivischen Zeichnens sind, erweist ihre notwendige Funktion im Hinblick auf die ganz offensichtlich intendierte Bildwirkung; diese ›Fehler‹ sind demnach kalkuliert eingesetzte ›Fingerzeige‹! Der eine betrifft die Darstellung des flachkonischen Stützenkopfes, dessen Außenrand nur zu Teilen ausgezogen ist, im übrigen aber mit der ebenen Deckenuntersicht eins zu werden scheint; der andere, bei weitem wichtigere die fehlenden Verschneidungslinien in der rechten hinteren Ecke des quadratischen Raumes, dort wo die Außenwände im rechten Winkel und die spitzwinklig hineingeführte Brüstungsdiagonale der leicht nach links versetzten Schlafgalerie auf- und ineinanderstoßen. Der sehr exakte Grundriß (Abb. 26) läßt hier nicht nur eine, sondern sogar zwei Winkel- und Verschneidungslinien erwarten. Tatsächlich jedoch sehen wir im Anschlußbereich der Galeriebrüstung nicht eine. Stattdessen verwachsen die Wand- und Brüstungsoberflächen zu einer nur noch zweidimensionalen Flächenfigur, deren räumliche Lage von unserer Vorstellungskraft weder mit der Außenwand noch mit der Galeriediagonalen koordiniert werden kann. Daraus folgt, daß die alle Elemente dieses Raumes *einer* Vorstellungseinheit unterwerfende perspektivische Raumillusion – zumindest hier – zerstört ist und wir

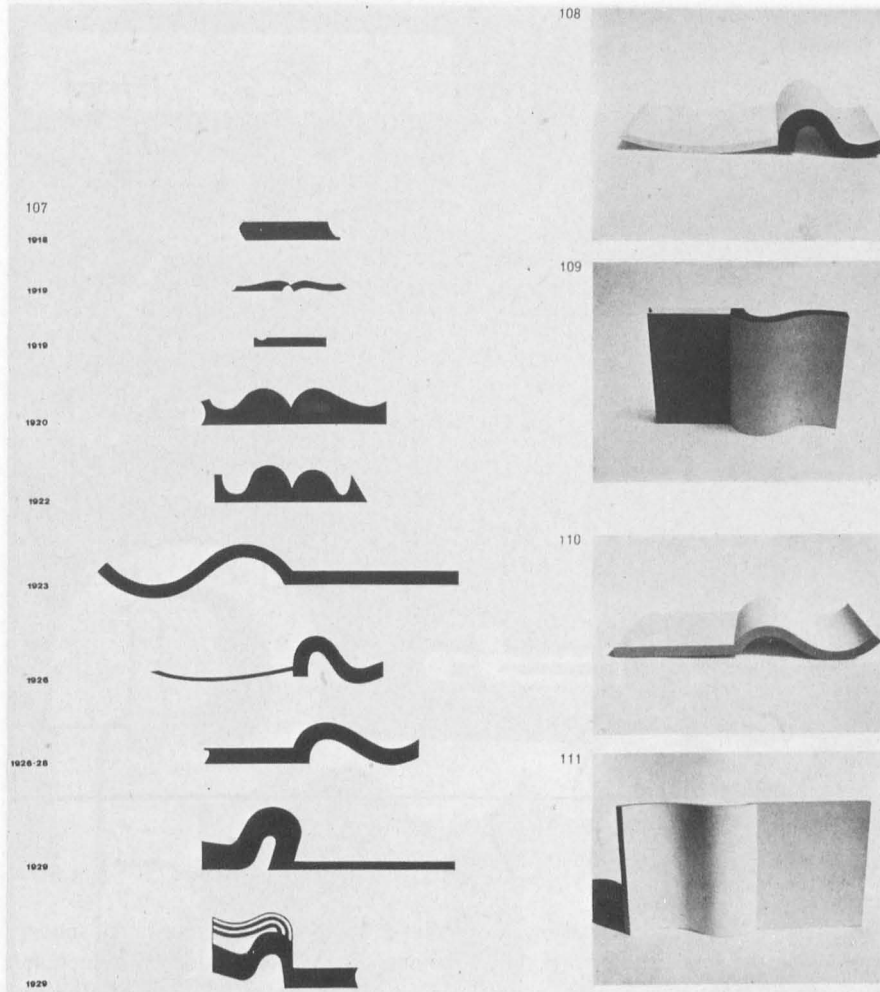


Abb. 28:  
„Puristische“ Darstellung eines Buches (nach Mango)

uns aufgefordert sehen, die räumliche Vorstellung dieser Atelierarchitektur in eine plane Bildkonfiguration zu transponieren.

Ganz entsprechendes lässt sich auch bei genauerem Hinsehen und Analysieren Corbusier'scher Bildkonstruktionen feststellen (Abb. 28, 29). Wie die Untersuchungen Roberto Mango's demonstriert haben, sind diese Bilder als außerordentlich komplexe Konfigurationen elementarer Objekte des alltäglichen Gebrauchs (Gläser, Flaschen, Bücher, Pfeifen usw.) zu sehen, jedoch nicht im Sinne eines zentralperspektivisch geein-



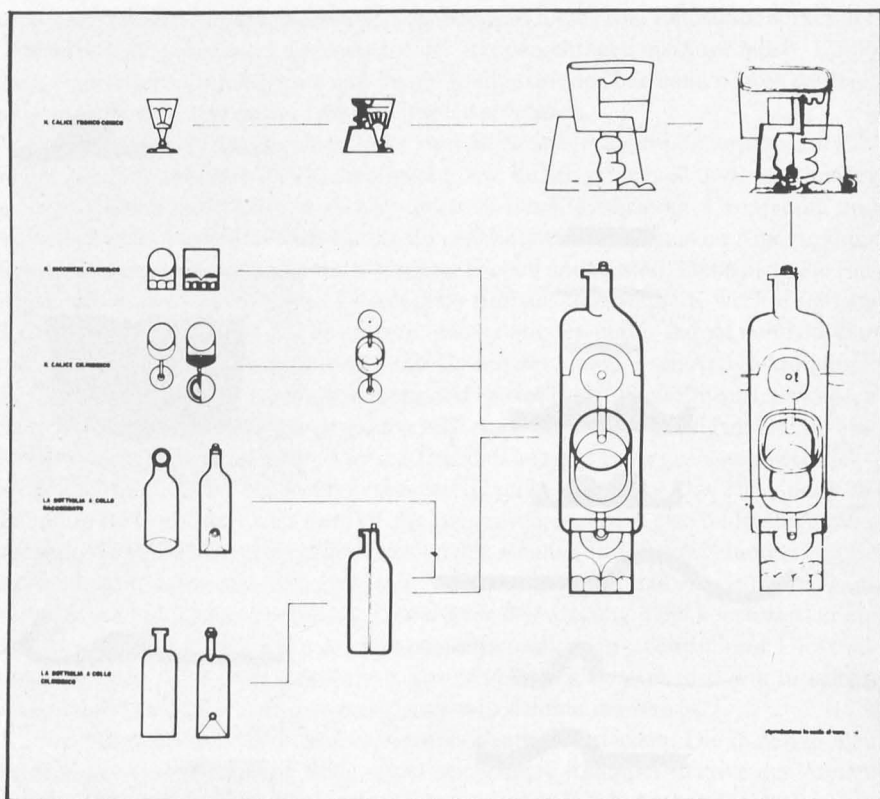


Abb. 29:  
„Puristische“ Bildkomposition (nach Mango)

ten Stillebens verschiedenster Dinge in ein und demselben Vorstellungsraum, sondern als künstlich-raumlose und -körperlose Versammlung und Konzentration elementarer Objektfragmente in einer streng zweidimensionalen Bildkonstruktion [63]. Elemente dieser Konstruktion sind nicht die abgebildeten Einzelobjekte im Ganzen, oder besser: einzelne Ansichten dieser Objekte, sondern die rißmäßig erfaßten Orthogonalprojektionen einzelner Objekt-Fragmente und Objekt-Aspekte, die nach Corbusier allein den wahren, d.h. unverzerrt-normalen, eben nur in einer Planprojektion wiederzugebenden Sachverhalt dieser Objekte wiederzugeben vermögen. Die Objektwelt wird rißgerecht in ihre Normalaspekte zerlegt und also fragmentiert, um dann, äußerst diszipliniert, zu einer sorgfältig konstruierten Plan-Konfiguration, zu einem „puristischen“ Bild verdichtet zu werden.

Alles Konzipieren von Architektur wird bei Corbusier vor dem Hintergrund dieses äußerst artifiziellen, Rißbild und Architekturrealität schillernd in eins webenden Figurationsprinzips neu und wohl auch besser zu verstehen sein (Abb. 30). Daß damit die

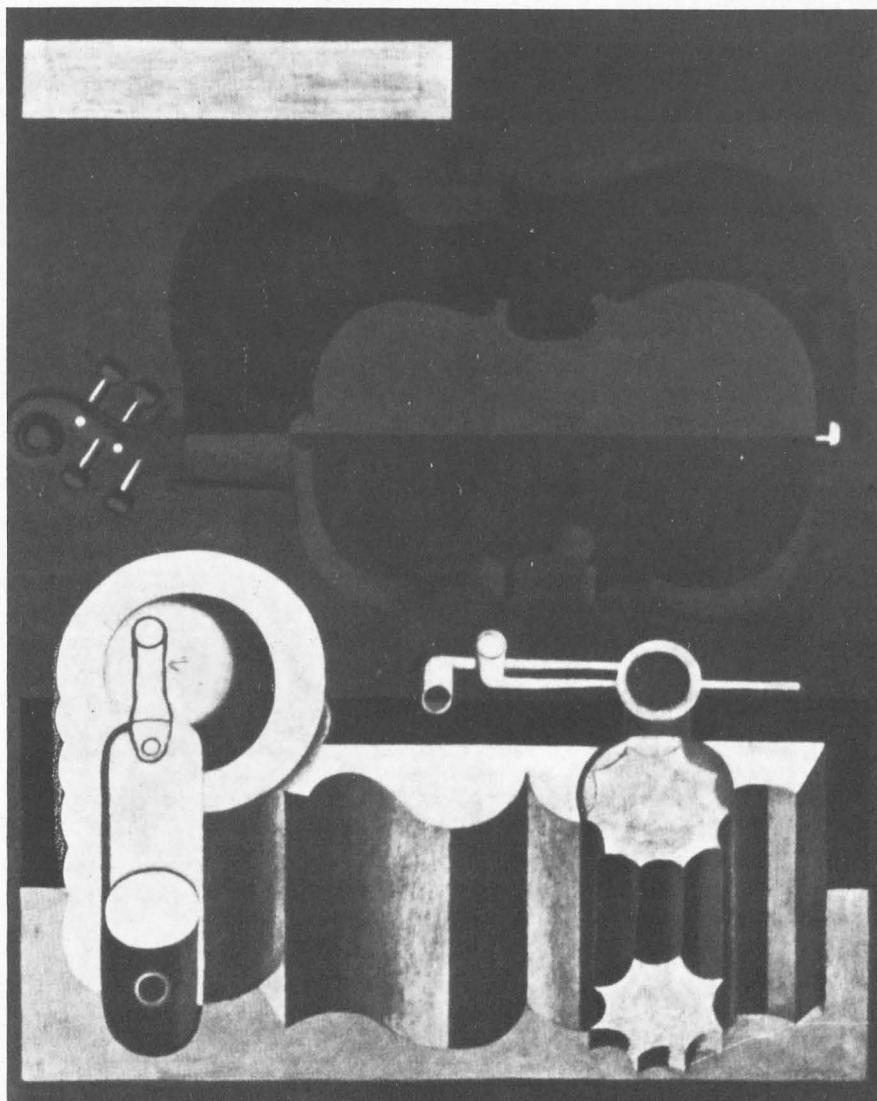


Abb. 30:  
Le Corbusier, „Nature morte“, 1920/22

von Cézanne entdeckte und von den Kubisten bereits vor dem ersten Weltkrieg realisierte Bildwelt der klassischen ›Moderne‹ als das entscheidende Figurationsprinzip auch der ›modernen Architektur‹ zu gelten hat, ist vor allem mit dem äußerst präzise seine Bilder nicht anders konstruierenden als seine Architekturen in Plan-Bilder transponierenden Le Corbusier nachhaltig unter Beweis gestellt [64].

Was hier für Le Corbusier festzustellen war, wird – in individuellen Brechungen und wichtigen Modifikationen selbstverständlich, *cum grano salis* also – grundsätzlich für eine adäquate Beurteilung und, daraus folgend, Geschichtsschreibungen der ›modernen‹ Architektur gelten können. Sicher ist, daß Prinzipien, Methoden und Leitvorstellungen der *venustus*-Kategorie das Gesicht und die Entwicklung der Architektur dieser Epoche sehr viel nachhaltiger geprägt haben, als die zeitgenössische Theorie, Architekturpropaganda und bald einsetzende Historiographie wahrhaben mochten. Die Künstler Le Corbusier oder Mies van der Rohe waren von den Funktionalisten und Entwerfern archetypischer Konstruktionen gleichen Namens in den Schatten gestellt und für lange Zeit nahezu aus dem Bewußtsein verdrängt worden.

Das Eingehen auf Prinzipien und Methoden der Konfiguration bietet neben einer präziseren Bestimmung der Eigenart ›modernen‹ Entwerfens zudem die Möglichkeit, Voraussetzungen in der Neuzeit und Folgen in der Post-Moderne aufzudecken, die aufgrund eines Fragens im Sinne der Kategorien *firmitas* und *utilitas* gar nicht erst in den Blick geraten wären. Auch dies sei anhand von zwei, drei Beispielen kurz erläutert.

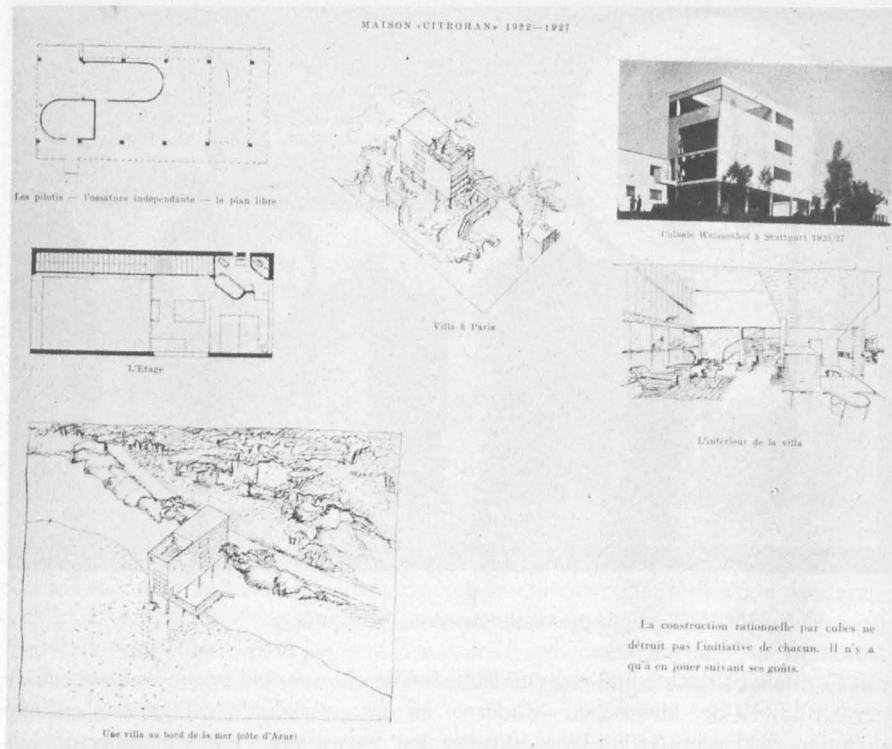


Abb. 31:  
Le Corbusier, „Maison Citrohan“, 1922–27

Grundrisse, Skizzen und Ansicht des 1927 in Stuttgart realisierten *Citrohan-Hauses* (Abb. 31) geben uns die Möglichkeit, Hauptpunkte des Entwerfens in dieser Zeit noch einmal zu isolieren und alsdann in dieser Isolierung als partikuläre Aspekte und Teilmomente (nicht also im Ganzen, sondern als tatsächlich vereinzelter Faktoren einer alle Aspekte umfassenden Summe architekturgenerierender Momente) mit jüngster Architektur ebenso wie mit Beispielen aus der Neuzeit zu vergleichen. Das Einleiten des Entwurfsprozesses durch eine primäre Setzung geometrisch und maßlich klar definierter Kuben, die auf dieser Abstraktionsstufe ebenso Bau- wie Raumkörper repräsentieren können, war uns durch die Konzeptskizzen Le Corbusiers (Abb. 25) bestätigt worden.

Die zugehörige, berühmte Rechtfertigung dieses systematischen Hauptpunktes des weißen, kubischen Bauens der 20er und 30er Jahre, der Nachweis nämlich, daß in »aller« historischen Architektur von Rang ganz entsprechend und also rechtfertigend elementare Grundfiguren der Geometrie den Aufbau und die Gliederung von Körpern und Flächen bis in Einzelheiten hinein bestimmt und so die konstitutiven Elemente dieser Architekturen geliefert hätten, ist uns allen geläufig (Abb. 32) [65]. Ebenso, daß die reine, ihrer Form nach zeitlose und also geometrische Körper unmittelbar zu einem

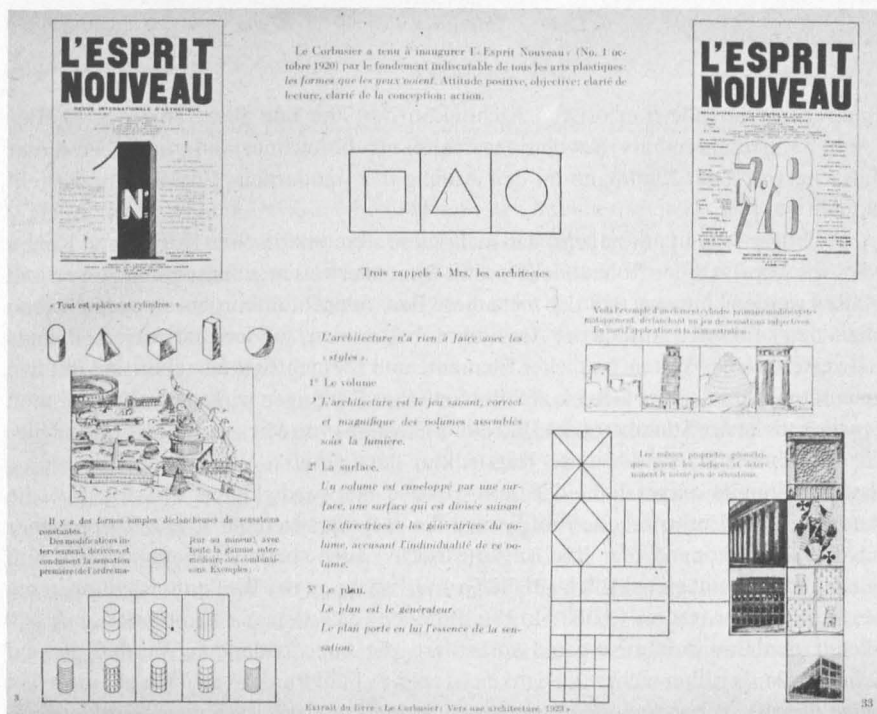


Abb. 32:

Le Corbusier, „Trois rappels à Mrs. les architectes“, 1923

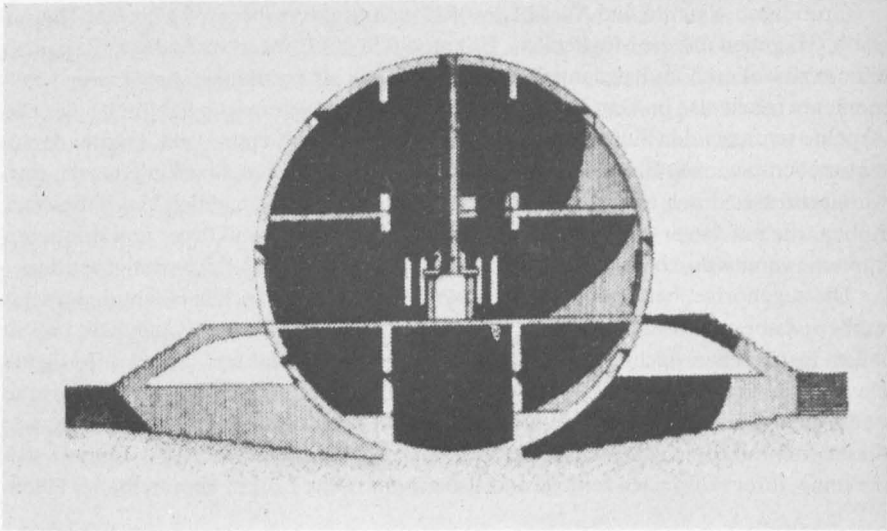


Abb. 33:

Claude Nicolas Ledoux, „Maison des Gardes Agricoles“, 1783

Bauwerk erklärende französische Architektur der 70er und 80er Jahre des 18. Jh.s (Abb. 33, irreführend als »Revolutionsarchitektur« bezeichnet) aufgrund eben dieser Tatsache von Emil Kaufmann an den Anfang der »modernen« Entwicklung gestellt worden war [66].

Wichtiger scheint mir zu sein, daß nicht diese stereometrischen Körper und Kuben (die, wie Mies-van-der-Rohe- oder De-Stijl-Bauten erweisen, ebensogut Scheiben und Platten werden können), daß also nicht diese Bau- oder Raumkörper setzenden Kuben allein den konkreten Aufbau der Architektur bestimmen, sondern ein zweites, kategorial verschiedenes System baulicher Elemente und Elementfiguren neben und mit den genannten Kuben in der Genese architektonischer Bildungen wirksam ist. Wir kennen es schon: es ist der Stützraster des Barcelona-Pavillons von Mies van der Rohe und hier die auf Einzelstützen reduzierte Tragstruktur der „pilotis“. War uns am Barcelona-Pavillion bereits aufgefallen, daß konstruktive Notwendigkeiten den Einsatz, die Anordnung und zentrierende Profilierung der metallglänzenden Kreuzstützen sicher nicht erklären können (der Bau ist »konstruktiv« auch stützenlos denkbar), so muß auch, und zwar mit einem Blick auf die Grundrisse des in der Weißenhofsiedlung realisierten Citrohan-Hauses (Abb. 34, 35), auffallen, daß zwar ein komplettes „pilotis“-Skelett den Bau durchrüstet und korsettiert, die kubusbildenden Wandungen und Binnenteilungen aber nicht – zu denken ist an die „Fünf Punkte“ und vor allem an den „plan libre“ – neben und unabhängig von diesem Punktstützsystem angeordnet sind, sondern just dort, wo diese bereits errichtet waren. Nur im Untergeschoß sorgt eine Serie von Freistützen für das charakteristische Aufständern des kubischen Baukörpers.

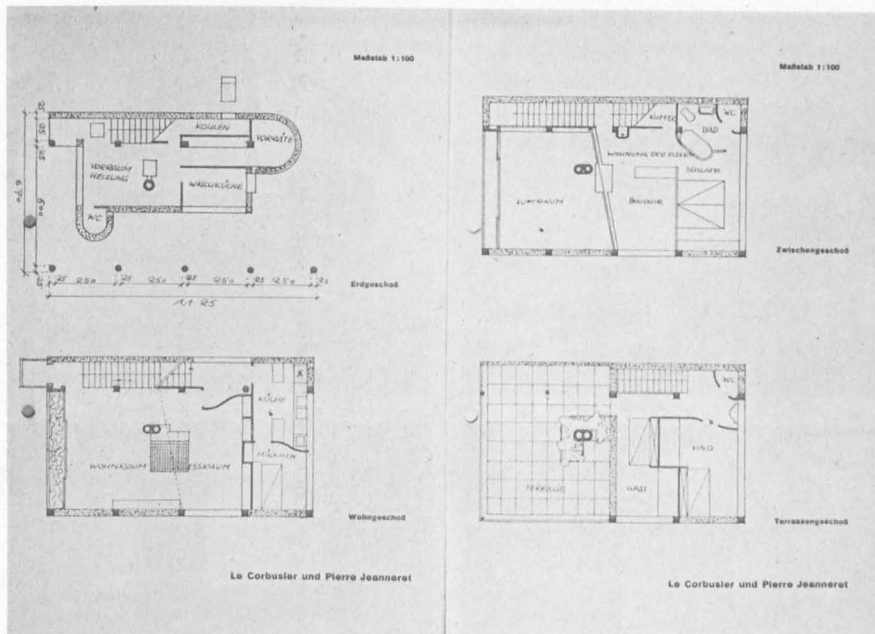


Abb. 34:

*Le Corbusier, Stuttgart, „Maison Citrohan“ in der Weißenhof-Siedlung, Grundrisse, 1927*

Während im Barcelona-Pavillon die beiden Systeme säuberlich in elementarer Vereinzelung verharren und sich wechselseitig ihre kategoriale Differenz durch pures Abstand-wahren bestätigen, verwachsen Stützen, Wandungen und Körper der Corbusier-Architektur auf eine Weise, die den – wenn wir es nicht besser wüßten – traktat-ähnliche Texte schreibende Autoren der „Fünf Punkte“ im Architekten dieses Hauses nicht wiedererkennen ließen.

Daß bautechnisch-konstruktive oder schlicht ökonomische Gründe eine konsequent-saubere und also prinzipiengerechte Umsetzung der „Fünf Punkte“ in gebaute Realität verhindert hätten, so daß wir es hier mit einem wenig signifikanten Einzel- oder sogar Unglücksfall zu tun hätten, mag im Hinblick auf den so widerspruchsfreien, nichts vermischenden Barcelona-Pavillon Mies van der Rohes als denkbare Hypothese gelten dürfen; richtig ist es nicht. Der systematische Vergleich aller Corbusier-Entwürfe und -Bildkonstruktionen mit seinem Weißenhof-Haus zeigt vielmehr, daß die hier zu beobachtenden und angesichts der erläuterten Theoreme ›moderner‹ Architektur sicher überraschenden Vermischungen und Vermengungen kategorial verschiedener Teilsysteme ganz im Gegenteil spezifisch für das individuelle Entwerfen Le Corbusiers sind. Sie sind das Salz seiner architektonischen Bildungen. So entdeckt man neben der groß gesetzten Primärform des reinen *Kubus* (1. Kategorie) Teileinheiten, die wiederum kubisch konzipiert sind; Mauerzüge und Wandungen (2. Kategorie),



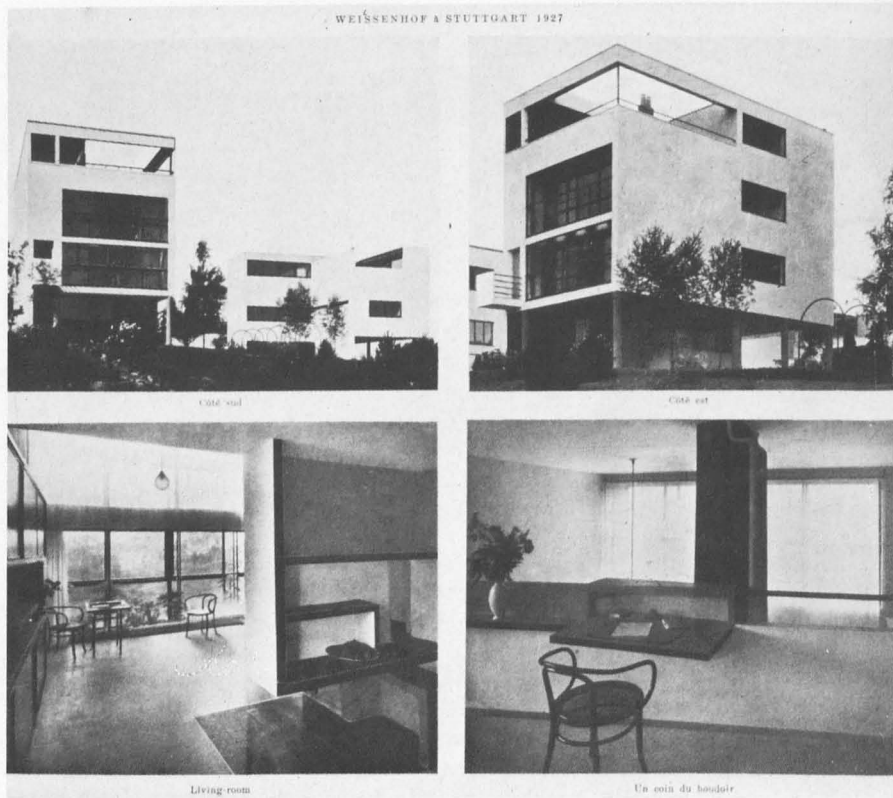


Abb. 35:

*Le Corbusier, Stuttgart, „Maison Citrohan“ in der Weißenhof-Siedlung, 1927*

die ebenso die Kuben zu konstituieren haben, wie sie sich in Bogen freizustellen wissen und so als Platten und Scheiben erscheinen; und schließlich das System der „pilotis“ (3. Kategorie), die ihrem Bindungs- und Mischungsgrad gemäß in dreierlei Gestalt anzutreffen sind: als vollkommen den Wandzügen integrierte, unter Putz verborgene Strukturteile; als kantige, mit den Wandungen verwachsene Mauerpfeiler; oder als freistehende, aus dem Wandverband herausgelöste Rundstützen. Stets werden auf analoge Weise Elemente unterschiedlichster Kategorie, Herkunft und Form so in eine kontaktstiftende Verdichtung gezwungen (eine Leistung offensichtlich des alles bergenden „prisme pur“), daß sie sich entweder – im Wortsinn – auseinandersetzen müssen, um ihre Eigenart zu wahren, oder aber eine Art von Ehe eingehen, die sie etwas anderes, wechselseitige Bindung garantierendes werden läßt.

Wirft man jetzt einen raschen, prüfenden Seitenblick auf die bis in Einzelheiten Le Corbusier verpflichtete, 1967 entstandene Architektur des Smith-Hauses von Richard Meier (Abb. 36, 37), so finden sich ebenfalls Kuben, Wandscheiben und „pilotis“, ausdrücklich jedoch nicht eine mit unserem Beispiel vergleichbare, Formenwandlungen auslösende und Auseinandersetzung oder Einigung fördernde Vermengung der katego-

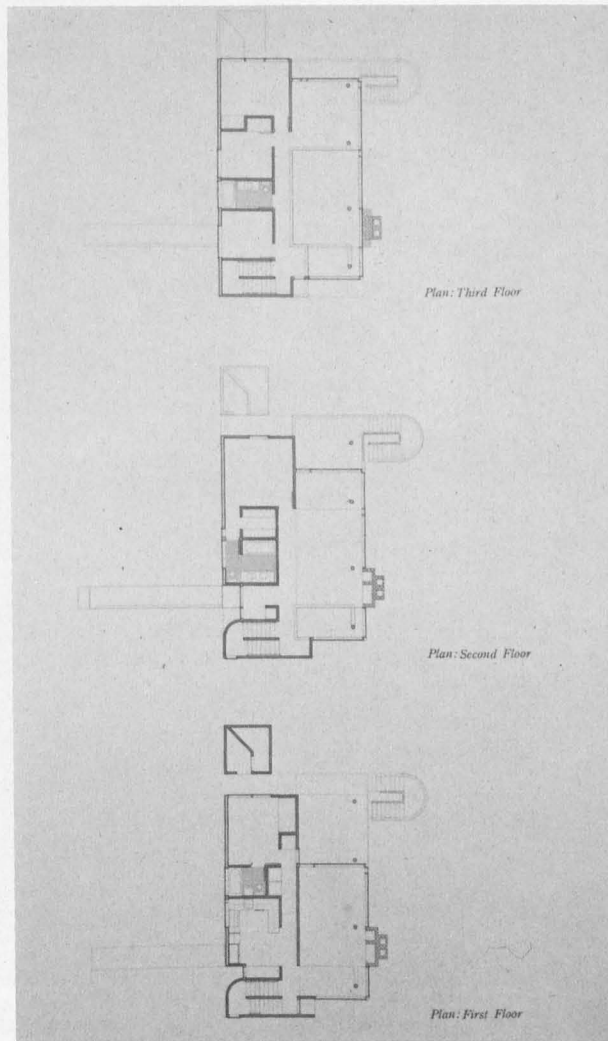
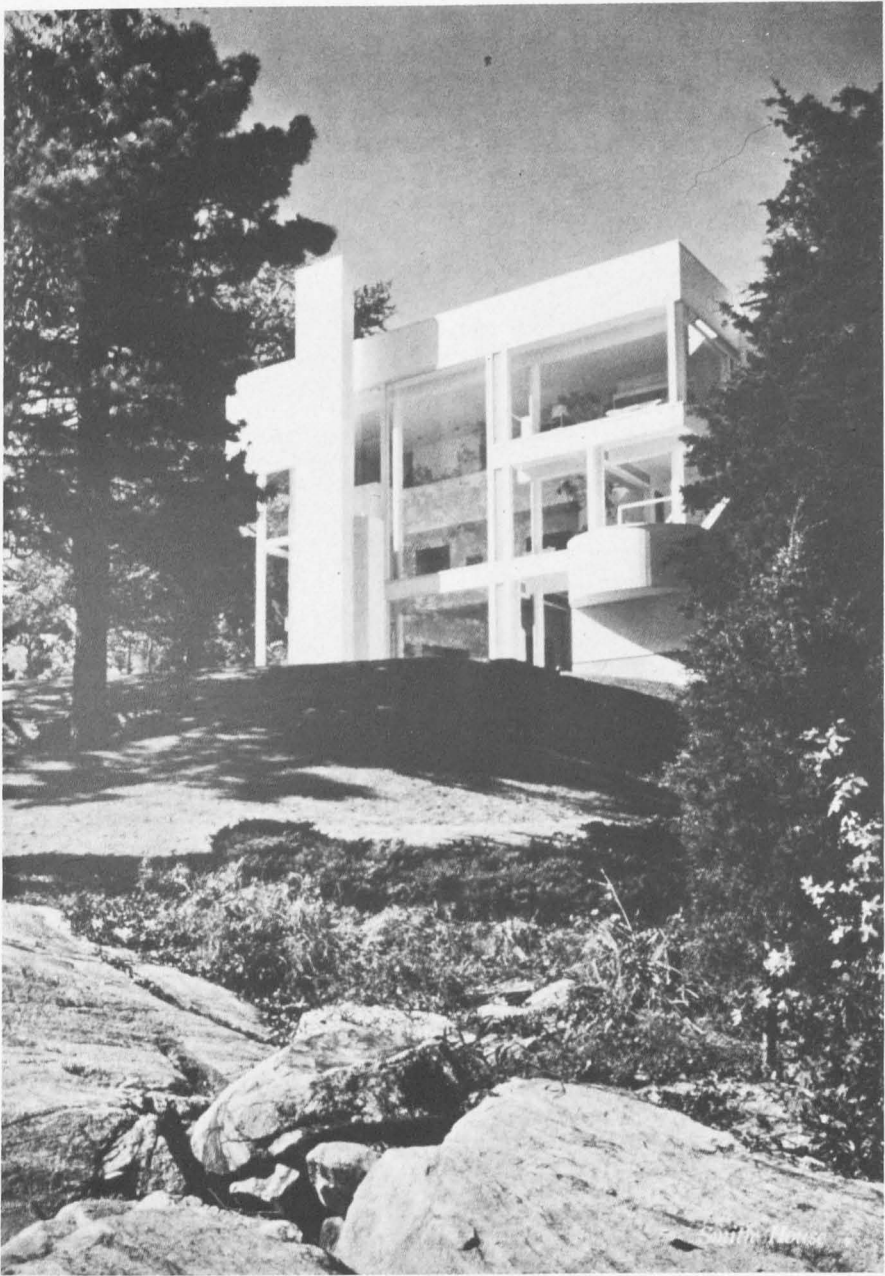


Abb. 36:  
Richard Meier, Darien (Connecticut), Haus Smith, Grundrisse, 1967

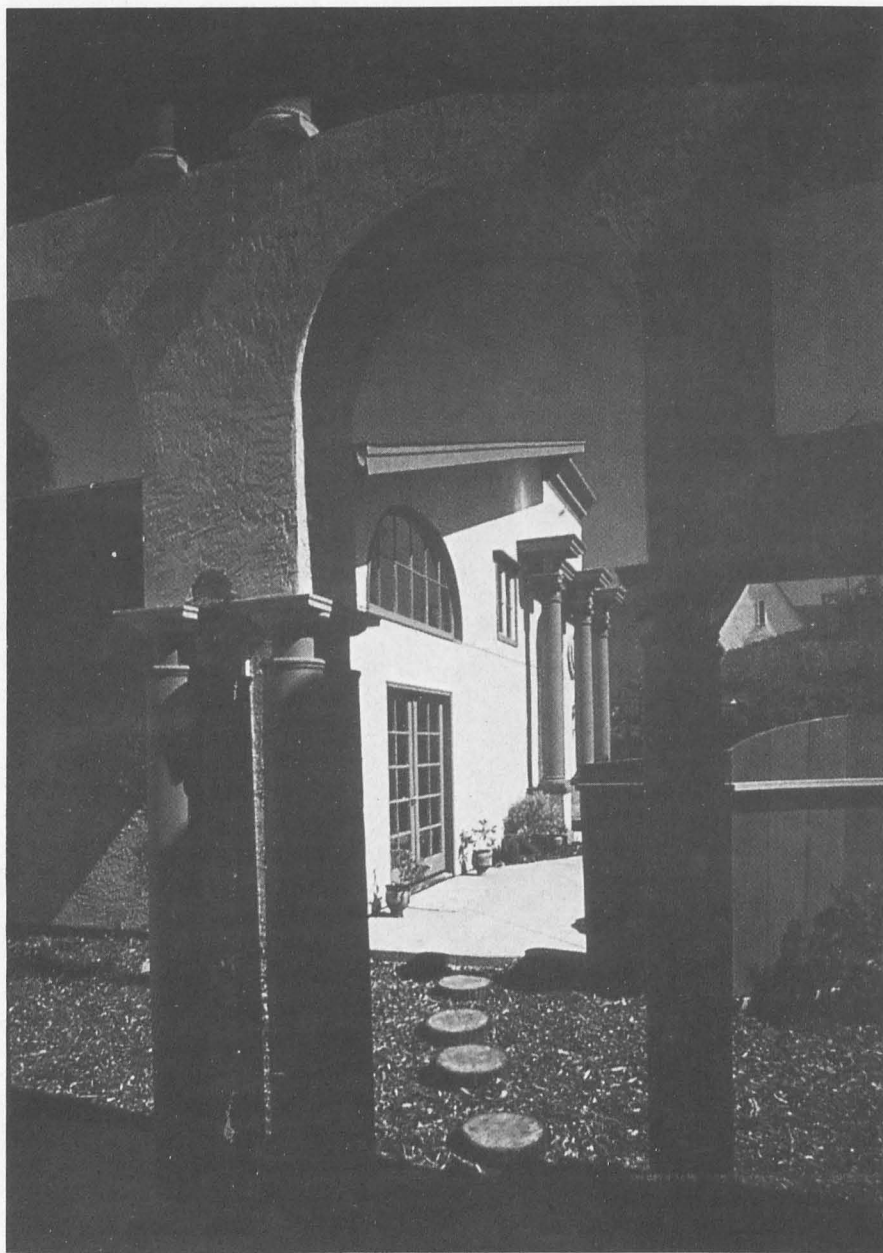




*Abb. 37:  
Richard Meier, Darien (Connecticut), Haus Smith, 1967*



Abb. 38:  
*Charles Moore, New Orleans, „Piazza d'Italia“, 1976–79*



*Abb. 39:  
Thomas Gordon Smith, Livermore (Cal.),  
Blick vom toskanischen zum laurentinischen Haus, 1979/80*

rial unterschiedenen Systeme *Kubus-Wand* hier und „*pilotis*“ dort; stattdessen eine ebenso isolierte wie gleichsam kontaktfähige und autistische Folge zylindrischer, rahmenbildender Punktstützen [67].

Dieser schon der Post-Moderne zuzurechnende, weil die ›Moderne‹ abermals modernisierende Bau verhilft nicht nur zu einem besseren Verständnis der erheblich dichter und zugleich eminent komplexen Architektur Le Corbusiers; sie gibt ganz grundsätzlich Anlaß, nach vergleichbaren und ebenfalls kategorial unterschiedenen Elementsystemen der Post-Moderne überhaupt zu fragen. Denn auch hier wird ein figurierendes Prinzip vermutet werden müssen, nachdem *firmitas* und *utilitas* zugunsten des aktuellen *venustas*-Regiments in den Wartesaal verbannt wurden.

Ein Blick auf die 1976 entworfene Piazza d'Italia in New Orleans von Charles Moore (Abb. 38) oder auf die Fassade der 1979 entstandenen „Laurentiana“ von Thomas Gordon Smith in Kalifornien (Abb. 39) macht auf Anhieb klar, daß es auch heute ein dem System der Kuben und Wandscheiben *eo ipso* fremdes, kategorial also vollkommen verschiedenes und mühelos isolierbares Gegensystem gibt, daß auf einer entsprechenden Abstraktionsstufe dem skelettierenden Punktstützen-System der „*pilotis*“ analog zu setzen ist [68]. Wir haben keine Mühe, ihm einen Namen zu geben: zweifellos handelt es sich um das System der bestens bekannten und neuerdings wieder – zum Torte aller Funktionalisten – fleißig studierten *Säulenordnungen* und *Ordnungsfiguren* [69]. Und dies ist lehrreich. Heißt es doch im Umkehrschluß, daß wir das System der Säulenordnungen und Ordnungsfiguren als genetische Voraussetzung für das System der „*pilotis*“ in der klassischen ›Moderne‹ zu begreifen haben.

Einige wenige Rückwärtsschritte sollen diese These illustrieren. Grundvoraussetzung für das ›moderne‹ ebenso wie das ›postmoderne‹ Entwerfen ist das Hantieren mit isolierten Teileinheiten, meist zu erklären durch das fragmentierende Zerlegen eines figürlich Ganzen in seine konstitutiven Elemente. Denn nur so, mit einem gleichsam frei verfügbaren Material elementarer ›Bausteine‹, kann das uns geläufige, das zusammensetzende oder komponierende Entwerfen an sein Werk gehen. Historisch vorbereitet war dies spätestens seit der mechanistischen Entwurfslehre Durands, die in der sogenannten Revolutionsarchitektur des 18. Jh.s. entwickelt worden war und seit dem frühen 19. Jh. als *die* Konstante unseres Entwurfsdenkens zu verfolgen ist (Abb. 40, 41) [70]. Denn auch sie begründete ihre Produkte ebenso kausal wie mechanisch durch den Rekurs auf eine im 18. Jh. bereits streng durchformulierte Normierung des Entwerfens durch die architekturgenerierend gedachten Gesetze der Konstruktion (*firmitas*) und Funktion (*utilitas*) [71]. Folgenreicher noch war Durands schulmeisterliche Darstellung einer ›universellen‹, durch Raster, Achsen und Symmetrien regulierten Kombinationsmethode zur mechanischen Versammlung und Anordnung ›elementarer‹ Architekturteile, -Stücke und -Fragmente. Der Elektizismus des 19. Jh.s hat mit Bravour bewiesen, daß diese mechanistische Kombinationsmethode auch dann noch funktionierte, als die zu versammelnden Elemente selbst in Stücklisten namens ›Formenlehre‹ geführt wurden und nach Herkunft, Form und Größe nichts miteinander gemein haben wollten [72].

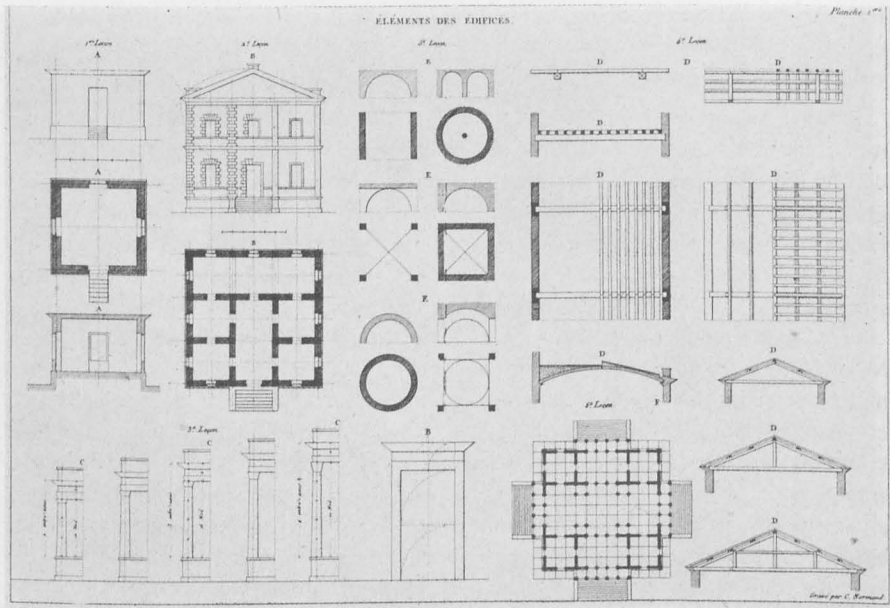


Abb. 40: Jean-Nicolas-Louis Durand, „Éléments des édifices“

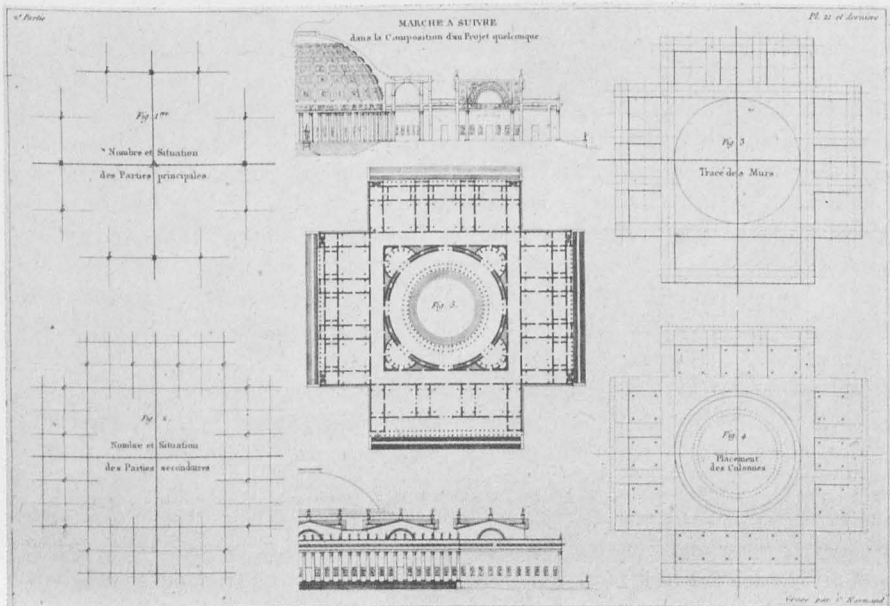


Abb. 41: Jean-Nicolas-Louis Durand, „Marche à suivre dans la composition...“

All dies war nur möglich, weil in der Mitte des 18. Jh.s das Zerlegen, Fragmentieren, ja Zerstücken in sich geschlossener Formkomplexe (damals der spätbarocken Architektur) allererst geübt und gleichzeitig das Versammeln heterogenster Elemente, Fragmente und Formtrümmer zu phantastischen Konfigurationen nie gesehener Abenteuerlichkeit erstmals ausprobiert worden war (Abb. 42, 43). Mit Giovanni Battista Piranesi also wäre die Geschichte jener nachbarocken Architektur einzuleiten, die in der Post-Moderne unserer Tage, etwas ahnungslos wohl, ihren da-capo-Auftritt feiern läßt [73]. Der phantastische Piranesi, die megalomanen ›Revolutionsarchitekten‹ und der schulmeisterliche Durand sind die näheren Wegbereiter der ›Moderne‹ ebenso wie der ›Post-Moderne‹.

Der Vergleichsbogen sei zum Abschluß noch einmal weiter gespannt. Die Zeichnungssammlung der Uffizien bewahrt einen Grundriß des römischen Pantheon (Abb. 44), den Baldassarre Peruzzi im zweiten oder dritten Jahrzehnt des 16. Jh.s auf der Grundlage eines exakten Aufmaßes gezeichnet haben muß [74]. Le Corbusier wird dieses Blatt nicht gekannt haben. Dennoch bestätigt es auf geradezu verblüffende Weise sein jetzt wohlbekanntes Konzept, nach dem als Leitfigur des Entwerfens von einem „*prisme pur*“ (Abb. 25) auszugehen sei. Auch Peruzzi scheint dies gedacht und also entdeckt oder entdeckt und folglich gedacht zu haben. Skizziert er doch in den rechten unteren Winkel seines Grundrißblattes den reinen Körper (oder auch Raum) einer Kugel, um so die konzeptionelle Leitfigur und damit das generierende Prinzip der Pantheonsarchitektur zur Evidenz zu bringen. Gleichzeitig hält er die zwei entscheidenden Folgeschritte des Entwurfskonzeptes fest, die horizontale Halbierung der Kugel nämlich zur

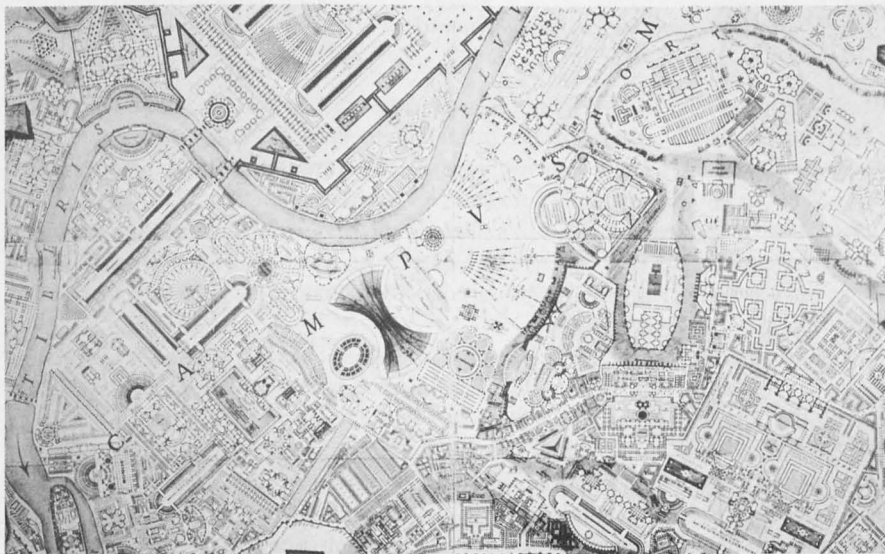


Abb. 42:

Giovanni Battista Piranesi, „Il Campo Marzio dell'Antica Roma“, 1762



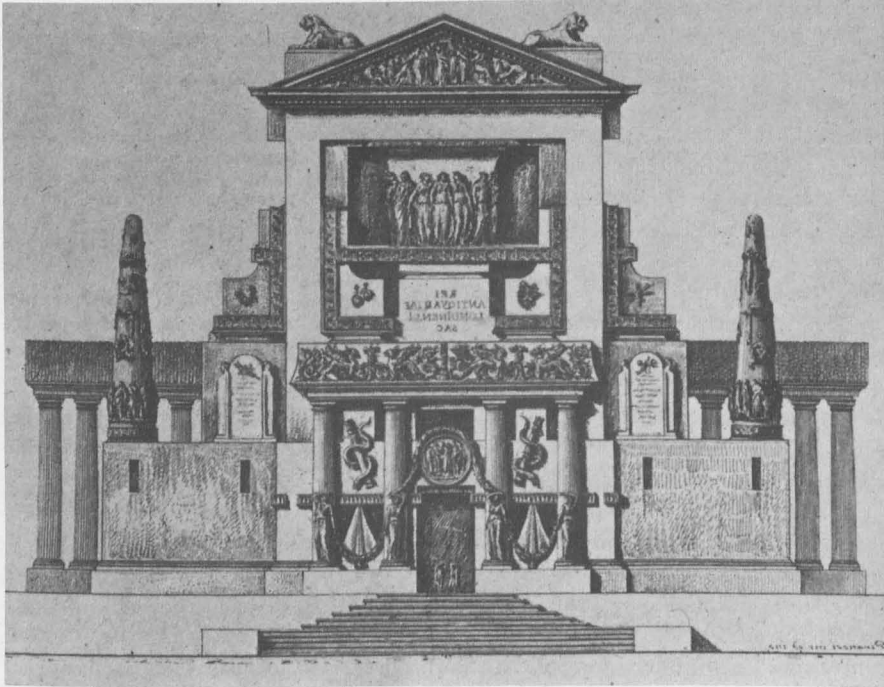


Abb. 43:

Giovanni Battista Piranesi, Fassadenentwurf aus „Parere su l'Architettura“, 1765

Bestimmung der Kuppelschale, ihrer Kämpferhöhe und so auch der Höhe ihres Stützzylinders; und dann eine weitere Horizontalteilung dieses Zylinders, die zur Bestimmung der Nischenhöhen und Bogenweiten im Gliederungssystem des mächtigen Mauermassives der Pantheonrotunde notwendig zu fixieren waren [75]. Das Ausgehen des Entwerfens von reinen Kuben als den allererst die Bau- bzw. Raumkörper setzenden Grundeinheiten gegliederter Architekten ist hier, in der hohen Renaissance, auf eine Weise dokumentiert, die unmittelbar mit den Vorstellungen Le Corbusiers zu vereinbaren ist.

Denn auch in dieser, für die Entfaltung des neuzeitlichen Entwurfsdenkens so wichtigen, ja exemplarischen Architektur der römischen Antike gibt es bereits das Analogon zum System der „pilotis“: den Tempel- und Vorhallenportikus (Abb. 45, 46). So, wie der Entwurfsprozeß bei Le Corbusier ganz gezielt in eine Auseinandersetzung der ebenso konstitutiven wie kategorial verschiedenen Systeme *Kubus-Wand* auf der einen und „pilotis“-Skelett auf der anderen Seite geführt wird, hat der hadrianische Architekt des Pantheon die ganz heterogenen Systeme des römischen Massiv- und Kuppelbaus dort mit der griechisch-hellenistischen Säulen-Gebälk-Struktur des Tempelbaus hier zu einer mächtigen Kombinationsarchitektur vereint [76]. Daß wir diese Analogie sehen,

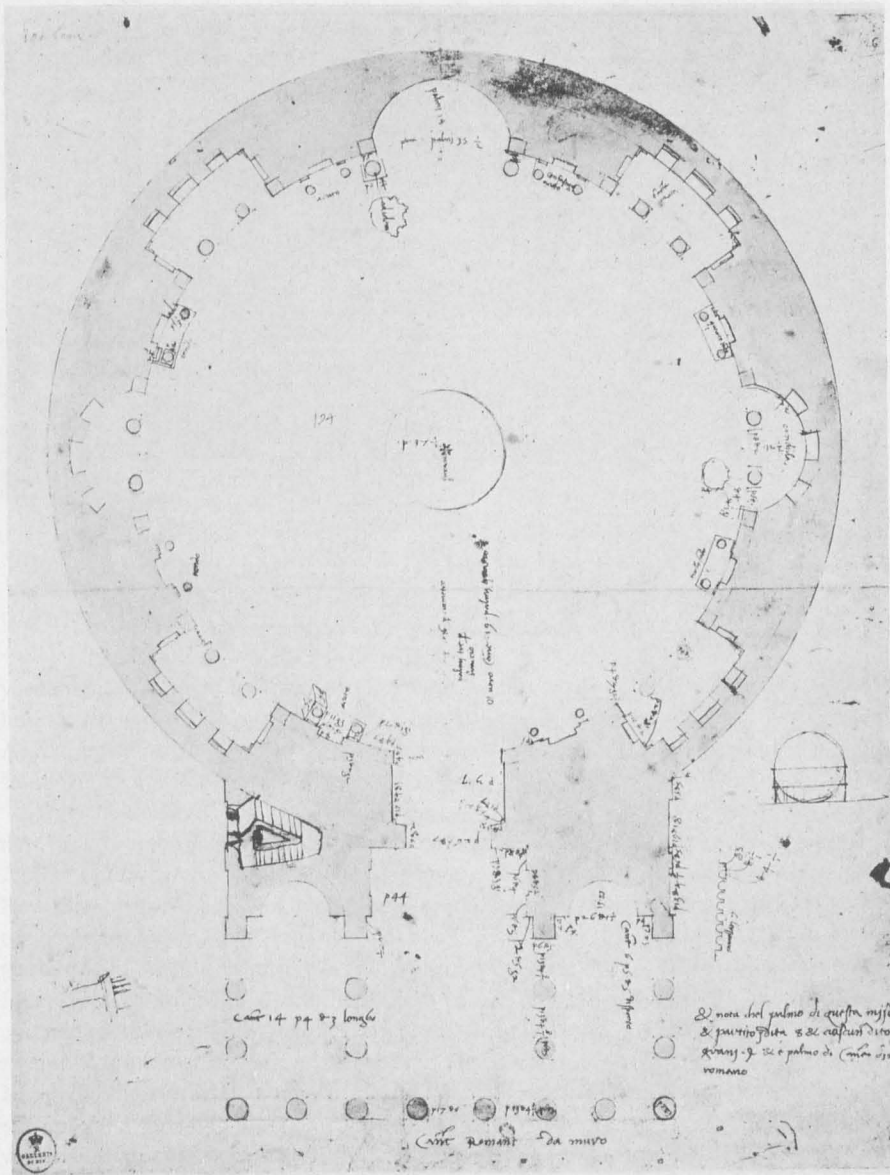


Abb. 44:  
Baldassarre Peruzzi, Rom, Pantheon, Grundrißaufnahme (UA 462 r.)



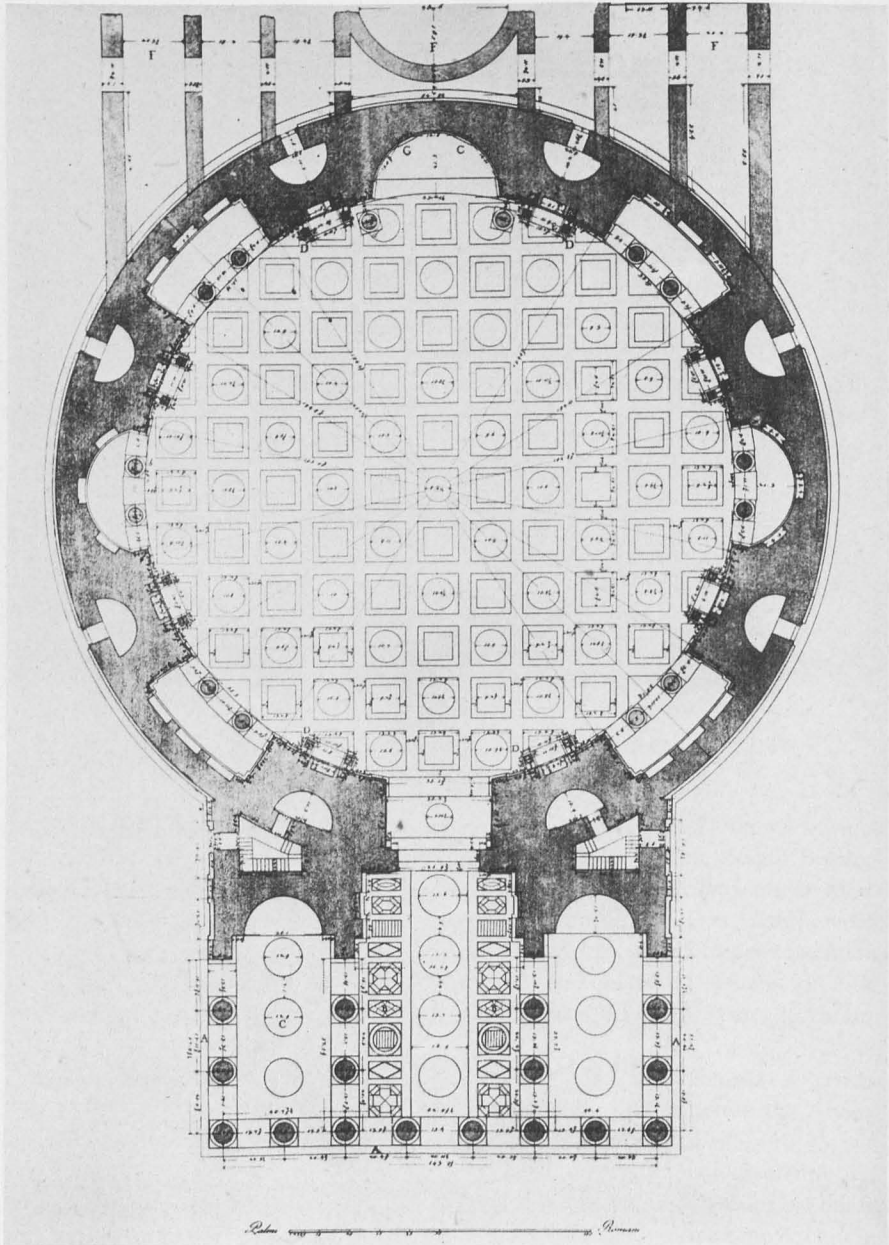


Abb. 45:  
Rom, Pantheon, Grundriß (nach Piranesi)

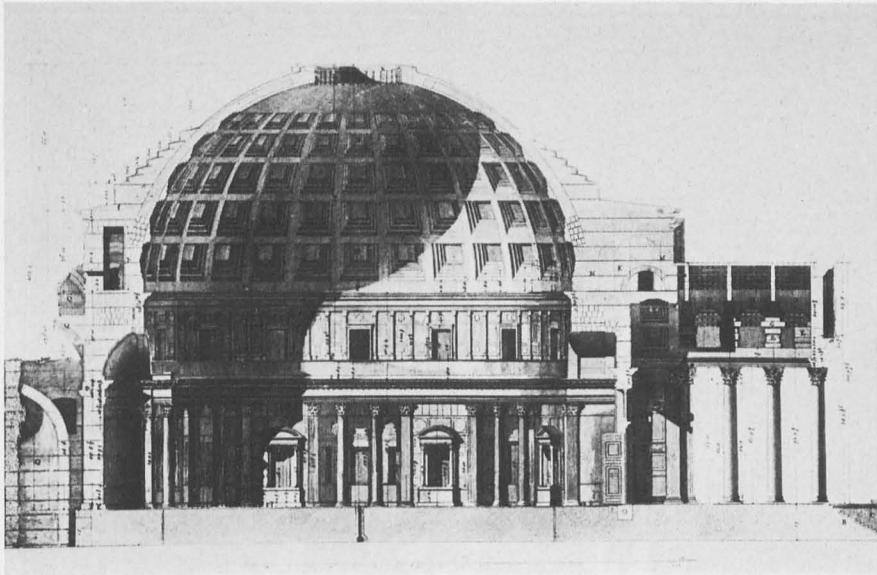


Abb. 46:  
Rom, Pantheon, Längsschnitt (nach Piranesi)

verdanken wir dem reflektierenden Entwurfsdenken der Renaissance, das seit dem frühen 15. Jh. entwickelt wurde, das sich – wie Peruzzis Skizze dokumentiert – durch die Antike bestätigt sah und das hier, am Pantheon, sehend, vergleichend und urteilend seiner selbst gewiß werden konnte.

Entscheidend ist, daß diese beiden, nach Genese, Form und Aufbau so heterogenen, ja auf einen Blick schlicht unvereinbar scheinenden Systeme in der römischen Antike bereits und – so bestätigt und angespornt – seit der Renaissance mit vollem Bewußtsein als wesentliche, weil generierende Momente das Entwerfen von Architektur begleitet haben. Zur Artikulation dieser Systeme braucht nichts weiter gesagt zu werden. Sie stehen unmittelbar vor Augen, wenn wir die ganz wunderbare kleine Ideenskizze Leonardo da Vinci's aus dem Codex Atlanticus (Abb. 47), die im Sinne einer modernen ›Explosionszeichnung‹ das Konzept einer verschränkenden Fügung zweier, komplementär sich ergänzender Gliedkörper zum Aufbau einer zentrierten Kuppelkirche zur Anschauung bringt, als Vertreter des Systems *Körper-Wand* neben eine post-moderne Paraphrase des hellenistisch-tuscanischen Säulen-Gebälk-Gestelles von Leon Krier aus dem Jahre 1982 (Abb. 48) stellen, dieses selbstverständlich als Vertreter des Stützen- oder „*pilotis*-Systems, das die Architektur der gesamten Neuzeit in Gestalt der Säulenordnungen und Ordnungsfiguren begleitet hat [77].

Dies im einzelnen zu zeigen, würde jetzt entschieden zu weit führen. Auf eines jedoch ist unbedingt aufmerksam zu machen, die Tatsache, daß es nicht auf die Existenz

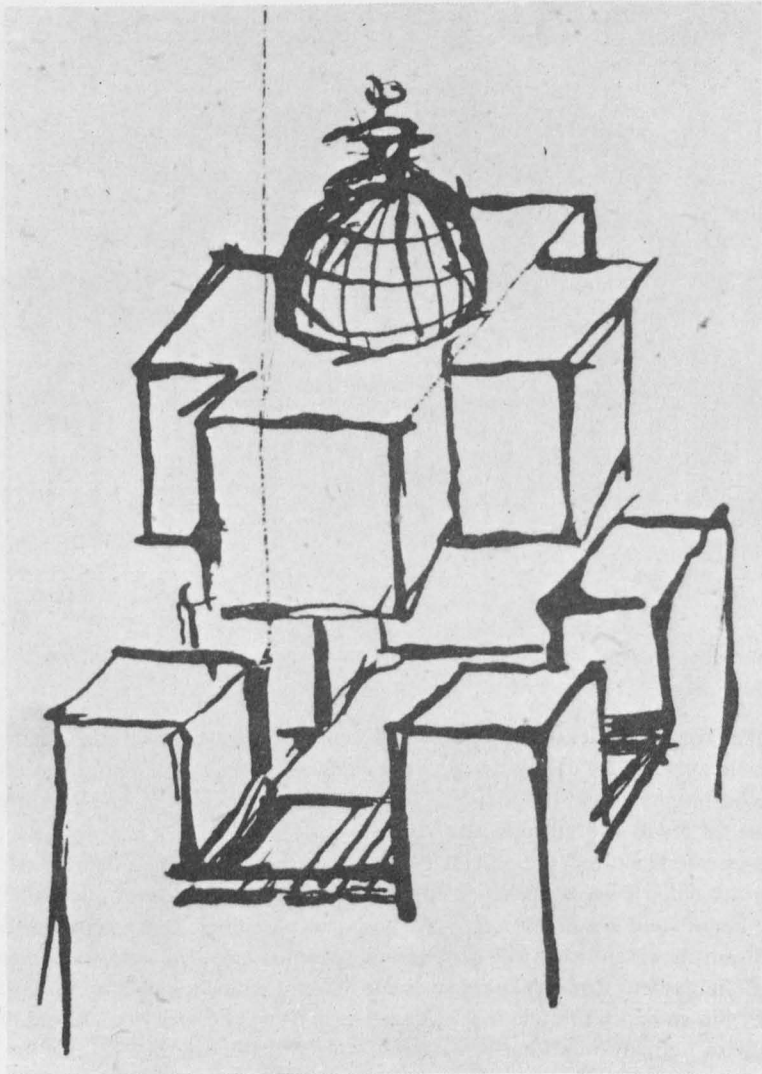


Abb. 47:  
*Leonardo da Vinci, Konzeptskizze (Umzeichnung), Mailand, Biblioteca Ambrosiana,  
Codex Atlanticus 310 v.a.*

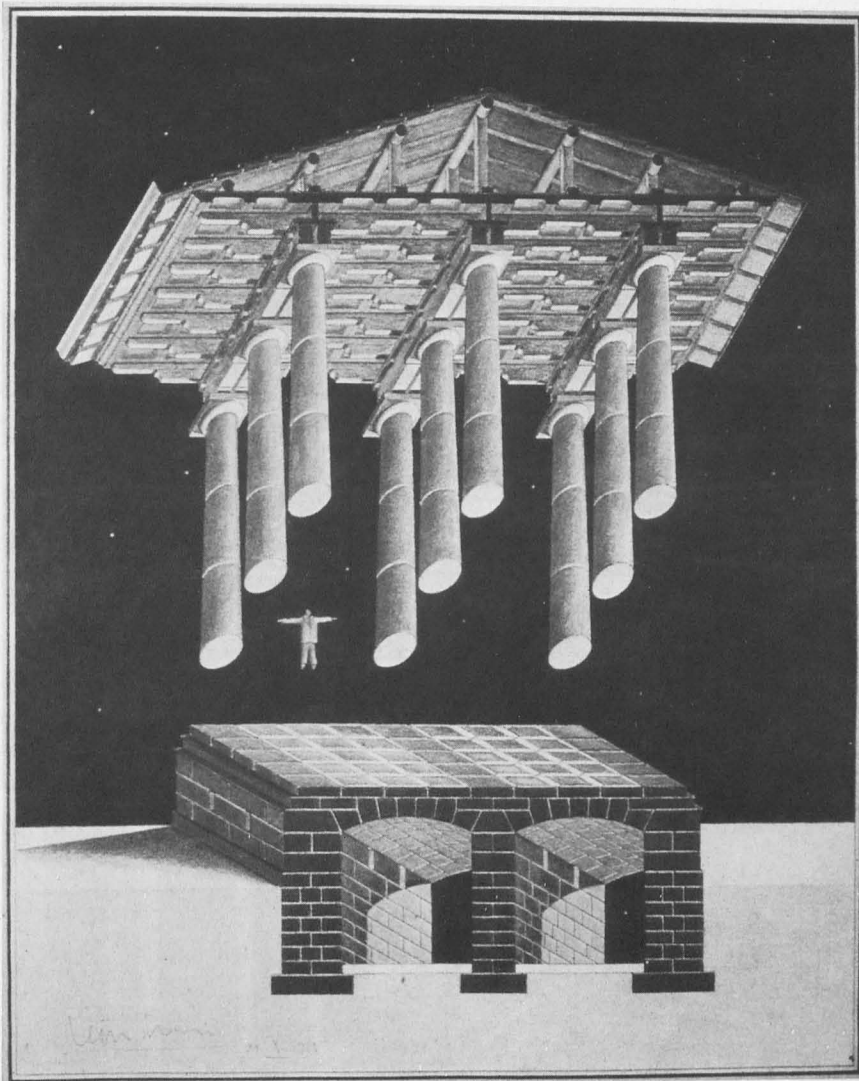


Abb. 48:  
Leon Krier, „Antiquitätenmarkt“, 1982

dieser Systeme, sondern einzig und allein auf ihre architekturzeugende Dichtführung, Kombination und komplexe, figurenbildende Verschränkung ankommt. Dieses ›Komplizieren‹ im Wortsinn nämlich, das in unserem Jahrhundert vor allem bei Le Corbusier zu studieren ist, scheint für Rang und Qualität einer Architektur konstitutiv zu sein. Man braucht nur Schritt für Schritt nachzuvollziehen, wie die (im Wortsinn:) ganz

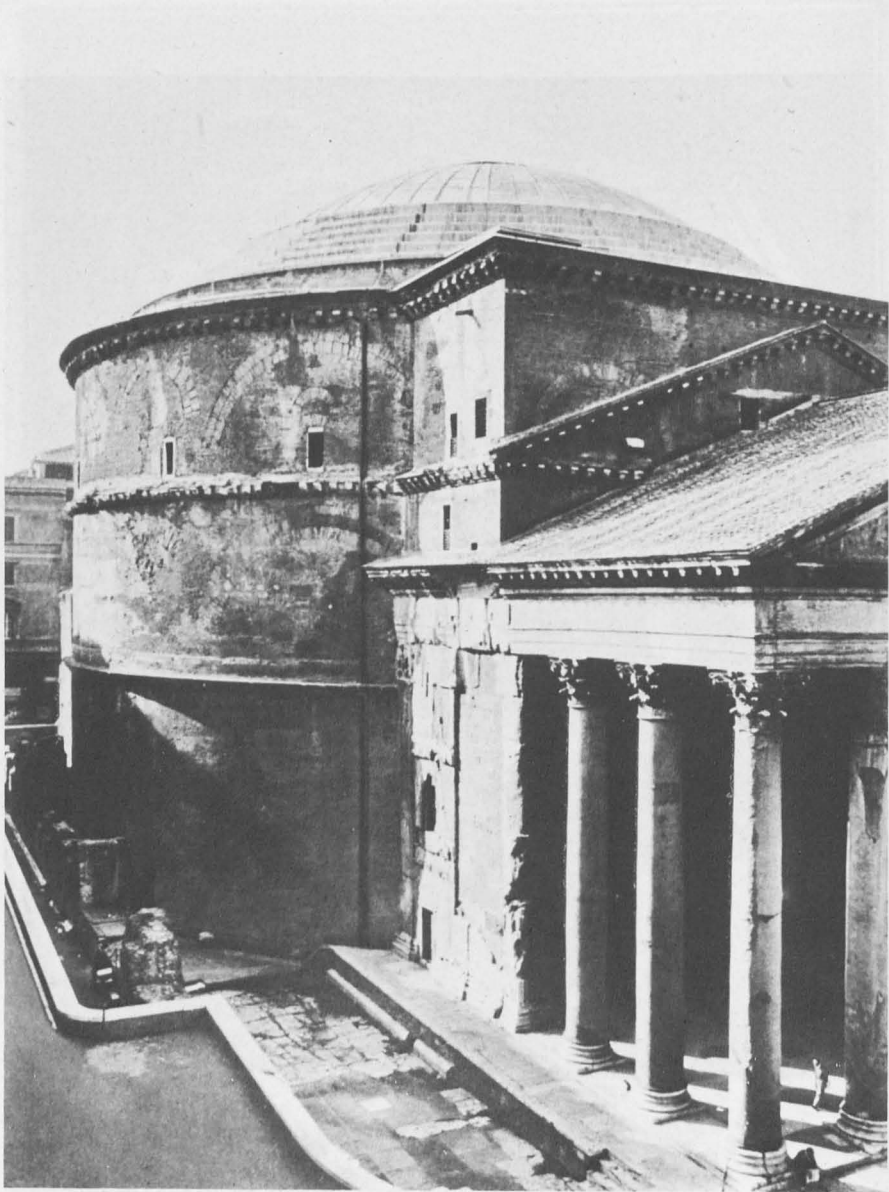


Abb. 49:  
*Rom, Pantheon, Nordostflanke*



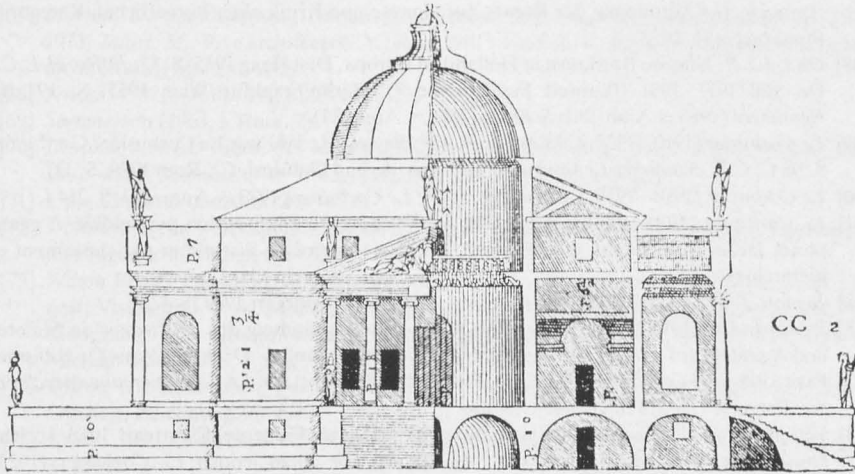


Abb. 50:

Andrea Palladio, Vicenza, „La Rotonda“

(Schnitt-Aufriß-Kombination nach den „Quattro libri dell'architettura“)

›unverbindlichen‹ Säulen der Gestellarchitektur des Pantheonportikus mit dem massiven Gelenkkörper zwischen Tempelfront und Kuppelrotunde verwachsen (Abb. 49), indem sie sich dort zu kantigen Stirnpfeilern und gliedernden Wandpilastern verwandeln; oder, wie das abermals isoliert eingesetzte Element des säulenträgenden Frontispiz' eines ionischen Podientempels römischer Herkunft den quadratischen, zunächst vollkommen ungegliederten Kernkörper der „Rotonda“ Palladios in eine ebenso gegliederte wie proportionierend strukturierte Architekturgestalt verwandelt (Abb. 50); auch dies gleichsam das Ergebnis eines Entwurfsprozesses, dessen Genese wir hinsehend und nachdenkend, anschaulich reflektierend also nachvollziehen können [78].

### Literatur

- [45] Giedion (1941, s.Anm. 1); Joedicke (1958, s.Anm. 1).
- [46] Argan, G.C.: Die Kunst des 20. Jahrhunderts, 1880–1940 (Propyläen Kunstgeschichte, Band 12), Berlin 1977.
- [47] Dieser für die Kunstgeschichte konstitutive Begriff ist auf das engste mit Geschichte und Methodik des Faches verbunden; um seine „Problematik“ zu erkennen, genügt es H. Focillon zu zitieren (La Vie des Formes, Paris 1934; dt.: Das Leben der Formen, Bern 1954, S. 10): „Immer werden wir versucht sein, in der Form noch einen andern Sinn als nur sie selber zu suchen, und den Begriff der Form mit dem des Abbildes, das die Darstellung eines Gegenstandes mit einbezieht, und vor allem mit dem Begriff des Zeichens selbst zu verwechseln“; allgemein: *Kunstgeschichte, eine Einführung*, ed. von H. Belting u.a., Berlin 1986<sup>2</sup>; zur Kritik des Begriffes: Müller, M.; Bredekamp, H.; Hinz, B.; Verspohl, H.-J.; Fredel, J. und

- Apitzsch, U.: Autonomie der Kunst, Zur Genese und Kritik einer bürgerlichen Kategorie, Frankfurt a.M. 1972.
- [48] Oud, J.J.P.: Nieuwe Bouwkunst in Holland en Europa, Den Haag 1935, S. 17; Jaffée, H.L.C.: De Stijl 1917–1931 (Bauwelt Fundamente 7), Berlin/Frankfurt/Wien 1965, S. 194 ff.; Neumeyer (1986, s.Anm. 24); Schulze (1986, s.Anm. 24).
- [49] *Le Corbusier* (1910–1929, s.Anm.26), S. 189; Besset, M.: Wer war Le Corbusier? Genf 1968, S. 98 f.; C.E. Jeanneret-*Le Corbusier*, ed. Izzo, A. und Gubitosi, C., Rom 1979, S. 117.
- [50] *Le Corbusier* (1910–1929, s.Anm. 26), S. 54; *Le Corbusier* (1923, s.Anm. 12), S. 214 f.
- [51] *Le Corbusier* (1910–1929, s.Anm. 26), S.189: „autorise composition pyramidale – genre plutôt facile, pittoresque, mouvementé, on peut toutefois le discipliner par classement et hiérarchie.“
- [52] Benton, J.T.: *Le Corbusiers Pariser Villen 1920–1930*, Stuttgart 1984, S.42 ff.
- [53] *Le Corbusier* (1910–1929, s.Anm.26), S.189. Zur Begründung des „Purismus“ in Malerei und Architektur s. Ch.E. Jeanneret Gris (*Le Corbusier*) und A. Ozenfant: *Après le cubisme*, Paris 1918, und *Le Corbusier* (1923, s.Anm. 12); „Purisme“, in: *Le Corbusier, une encyclopédie*, Paris 1987, S.318 ff. (Danièle Pauly).
- [54] Von Moos, S.: *Le Corbusier, Elemente einer Synthese*, Frauenfeld/Stuttgart 1968, spricht konsequent vom „Haus als Kasten“ (S.103 f.); vor allem jedoch *Le Corbusier* (1923, s.Anm. 12).
- [55] *Le Corbusier* (1923, s.Anm. 12), S.16: „L’architecture est le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière. Nos yeux sont faits pour voir les formes sous la lumière; les ombres et les clairs relèvent les formes; les cubes, les cones, les sphères, les cylindres ou les pyramides sont les grandes formes primaires que la lumière révèle bien; l’image nous en est nette et tangible, sans ambiguïté. C’est pour cela que ce sont de belles formes, les plus belles formes“.
- [56] *Le Corbusier* (1910–1929, s.Anm. 26), S.189; die Vorentwürfe für die Villa S.186 ff.; zur Villa Savoye auch: Von Moos (1968, s.Anm. 54), S.140 ff.; Huse, N.: Corbusier in Selbstzeugnissen und Bilddokumenten, Reinbek 1976, S.41 ff. und Benton (1984, s.Anm. 52), S.179 ff.
- [57] *Le Corbusier* (1910–1929, s.Anm. 26), S.189: „très facile, pratique, combinable“; die „Villa à Carthage“ S.176 ff.; dazu auch: „Solution élégante“, in: *Le Corbusier, une encyclopédie*, Paris 1987, S.369 ff. (Bruno Reichlin).
- [58] *Le Corbusier* (1919–1929, s.Anm. 26), S.189: „très généreux, on affirme à l’extérieur une volonté architecturale, on satisfait à l’intérieur à tous les besoins fonctionnels (insolation, contiguités, circulation).“
- [59] Zu den Bildern *Le Corbusiers* s. Petit, J.: *Le Corbusier lui-même*, Genf 1970; s. auch die Stichworte „Objets à réaction poétique“, „peinture“, „purisme“, in: *Le Corbusier, une encyclopédie*, Paris 1987.
- [60] Diesen Aspekt haben zumal Hitchcock und Johnson betont (1932, s.Anm. 1).
- [61] Das Beispiel einer Architekturanalyse der skizzierten Art hat Bruno Reichlin in seinem in Anm. 57 zitierten Beitrag geliefert.
- [62] Mango, R.: Ch.E. Jeanneret – le Corbusier, La „Peinture architecturée“ 1918–1928, in: C.E. Jeanneret-*Le Corbusier* (1979, s.Anm. 49), S. 13–70; s. auch „Synthèse des Arts“, in: *Le Corbusier, une encyclopédie*, Paris 1987, S. 386 ff. (Arnold Rivkin).
- [63] Mango (1979, s.Anm. 49 und 62).
- [64] Kahnweiler, D.H.: *Der Weg zum Kubismus*, München 1920; Barr, A.H.: *Cubism and Abstract Art*, New York 1936; Haftmann, W.: *Malerei im XX. Jahrhundert*, München 1957.
- [65] Noch einmal ist auf *Le Corbusier* (1923, s.Anm. 12) und *Le Corbusier* (1910–1929, s.Anm. 26) zu verweisen, dort vor allem auf die S. 33.
- [66] Kaufmann (1933, s.Anm. 4); Kaufmann, E.: *Architecture in the Age of Reason*, Cambridge (Mass.) 1955.

- [67] *Morton, D.*: Smith House, Darien, Connecticut, 1967, in: *Global Architecture* 22, Tokio 1973. *Tafari, M.*: Five architects N.Y., Rom 1981<sup>2</sup>. *Vaudou, V.*: Richard Meier (Documenti di architettura), Mailand 1986.
- [68] *Jencks* (1987, s. Anm. 11), S.284 ff., S.222 f.
- [69] *Summerson* (1964, s. Anm. 7).
- [70] *Durand, J.N.L.*: Précis des leçons d'architecture données à l'École Polytechnique, Paris 1802–1805. *Szambien, W.*: J.N.L. Durand, 1760–1834, Paris 1984.
- [71] s. die Literatur der Anm. 30.
- [72] *Döhmer, K.*: In welchem Stile sollen wir bauen? Architekturtheorie zwischen Klassizismus und Jugendstil, München 1976.
- [73] *Wilton Ely, J.*: The Mind and Art of Giovanni Battista Piranesi, London 1978 (dt.: G.B. Piranesi, Vision und Werk, München 1978). Zur Bedeutung des Settecento-Rom für die Post-Moderne s. z.B. „*Roma Interrotta*“, in: *Architectural Design*, Nr. 3/4, Bd. 49 (1979), ed. Michael Graves.
- [74] *Wurm, H.*: Baldassarre Peruzzi, Architekturzeichnungen, Tafelband (Panthéon: Florenz, Uffizien, Zeichnung 462 A r.).
- [75] *Kraus, Th.*: Das römische Weltreich (Propyläen Kunstgeschichte, Bd. 2), Berlin 1967, S. 193 ff.
- [76] *Von Gerkan, A.*: Griechische und römische Architektur, in: *Bonner Jahrbücher des Rheinischen Landesmuseums und des Vereins von Altertumsfreunden im Rheinlande*, Bd. 152 (1952), S. 21 ff.
- [77] Zur Leonardo-Literatur s. *Pedretti, C.*: Leonardo architetto (Documenti di architettura), Mailand 1988<sup>2</sup>. Zu Leon Krier s. *Jencks* (1987, s. Anm. 11), S.190 ff.
- [78] *Palladio, A.*: I Quattro Libri dell' Architettura, Venedig 1570. *Ackermann, J.S.*: Palladio's Villas, Locust Valley (N.Y.) 1967. *Puppi, L.*: Andrea Palladio, Das Gesamtwerk, 2 Bde., Stuttgart 1977.





## **Epische, lyrische und dramatische Poesie** **Zur Entstehung der triadischen Gattungspoetik**

(Zusammenfassung)

Von **Jost Schillemeit**

Epische, lyrische und dramatische Poesie: die drei Begriffe gehören seit langem zum Standardvokabular der Literaturgeschichte und der allgemeinen Literaturtheorie; ja, sie sind zweifellos – zumindest innerhalb der letzten zwei Jahrhunderte – der historisch bedeutendste und folgenreichste Versuch einer systematischen Einteilung des ganzen Feldes der Dichtkunst. Man findet sie beispielsweise in Hegels ‚Vorlesungen über die Ästhetik‘, als Grundriß des ganzen, sehr umfangreichen Kapitels über die Poesie, und man findet sie ebenso, mit anderer Ableitung und Begründung, in Emil Staigers ‚Grundbegriffen der Poetik‘ (1946).

Der Vortrag des Verfassers suchte einen Einblick in die Entstehungsgeschichte dieser „triadischen“ gattungspoetischen Konzeption zu geben, an Hand einiger wichtiger Belegtexte aus dem Ende des 18. und dem Beginn des 19. Jahrhunderts. Er suchte zu zeigen, daß eine Hauptvoraussetzung für die Entstehung der angedeuteten Poetik in der Herausbildung einer bestimmten Idee von „epischer Dichtung“ bestand, die durch folgende Momente charakterisiert ist: Darstellung einer unbegrenzten Vielheit von Begebenheiten (statt einer vollständigen dramatischen Handlung); Beliebigkeit des Anfangs und des Endes der Darstellung; ruhige, „unparteiische“, leidenschaftslose Haltung des Erzählers; „Objektivität“ der Darstellung; gleiche Wichtigkeit und gleichmäßig helle Beleuchtung aller dargestellten Ereignisse und Gegenstände. Alle diese Eigenschaften konnten dazu führen, daß die „epische Poesie“ als Gegensatz, als Antithese zur lyrischen Poesie empfunden wurden. – Gezeigt wurde im Vortrag zunächst, an einer Reihe von Texten von Friedrich und August Wilhelm Schlegel – namentlich an Friedrich Schlegels Aufsatz ‚Über die homerische Poesie‘ (Anfang 1797) und August Wilhelms großer Rezension von Goethes ‚Hermann und Dorothea‘ (Ende 1797) – wie diese Idee sich allmählich, Schritt für Schritt, entwickelte und ausgestaltete, bis hin zur Systematisierung in August Wilhelm Schlegels ‚Berliner Vorlesungen“ (1801–04) und Schellings ‚Philosophie der Kunst‘ (1802/03). Und gezeigt wurde weiterhin, wie es zu dieser ganzen Gedankenentwicklung zwei bedeutende Vorstufen gab: die berühmte Homer-Abhandlung des Philologen Friedrich August Wolf von 1795 und zwei Aufsätze von Herder aus dem Herbst desselben Jahres: ‚Homer, ein Günstling der Zeit‘ und ‚Homer und Ossian‘, die beide heute vergessen sind, von denen aber offensichtlich eine entscheidende Anregung für die ganze, hier angedeutete Ideenentwicklung ausging.



## Rousseau oder der Aufbruch des Selbstbewußtseins

(Kurzfassung)

Von **Heribert Boeder**

Der folgende Aufriß setzt eine geschlossene Geschichte der Philosophie voraus – in sich unterschieden nach Maßgabe der epochalen Weisheits-Gestalten, welche die philo-sophische Vernunft concipiert hat (s. „Topologie der Metaphysik“, Freiburg 1980). Weisheit ist hier ein anschauliches Wissen von der Bestimmung des Menschen, aus der die Forderung ergeht, daß er sich von sich selbst unterscheide; dagegen bleibt sein vielberedeter Unterschied zum Tier immer nur ein gradueller – mit den kantischen Kategorien gedacht: seine „Realität“, nicht seine „Wirklichkeit“ betreffend.

Die erste Conception der letzten Epoche jener Geschichte ist die kantische – bezogen auf die von Rousseau erbrachte Weisheits-Gestalt. Um ihre Verfassung von Kant her zu erschließen, sei gefragt: wie versteht dieser die Bestimmung der Sache des Denkens?

Bestimmung ist ihm a) unmittelbar das gegebene „Factum“ der Freiheit – gegenwärtig im Sittengesetz, wie es für ein Vernunftwesen, das zugleich Sinnenwesen ist, „kategorischer Imperativ“ sein muß. Eben diese Seite der Erscheinung b) widerstreitet aber jenem Factum, wegen der durchgängigen Bestimmung eines Sinnenwesens gemäß der Natur-Kausalität; für die praktische Vernunft bedeutet dies: Heteronomie. Dem entgegen muß sie c) ihre Autonomie geltend machen, und zwar mit dem Recht der notwendigen Voraussetzung ihres reinen Begriffs, nämlich ihrer Idee von dem Factum der Freiheit.

Das dieser Bestimmung entsprechende Denken ist a) unmittelbar das Gefühl der Achtung für das Gesetz und Übereinstimmen des Vernunft-Willens mit ihm – näher dem vormaligen timor domini als dem amor dei. Indem aber die praktische Vernunft dem Verstande „beiwohnt“, versucht dieser, b) vernünfteln die strenge Allgemeinheit des Gesetzes nach Maßgabe seiner Klugheits-Regeln und technischen Imperative einzuschränken, also das Sittengesetz ebenso anzuerkennen wie auch nicht, nämlich nur bedingungsweise (schon Parmenides sah ein solches Verhalten, das sich nicht einmal zur reinen Widersetzlichkeit aufzuraffen vermag, der Vernunft der „Sterblichen“ an; so ist denn auch Ja **und** Nein, „ist“ **und** „nicht“ die Erste Lüge). Dem tritt c) die „Aufklärung“ der praktischen Vernunft über Notwendigkeit und Allgemeinheit des Gesetzes entgegen; der einzige Zugang zu der „Weisheitslehre“, in der eine Philosophie ihre Aufgabe erfüllt, ist also „Wissenschaft“; diese stellt nicht nur die Dialektik der praktischen Vernunft bloß, sondern ist auch die einzige Methode, in „absoluter“ Vernunft-Tätigkeit einen an sich selbst guten Willen „hervorzubringen“.

Das Denken dieses guten Willens hat schließlich zu seiner Sache das höchste Gute, wie es der Grund zum System des mannigfaltigen Guten ist, und zwar für ein Handeln

aus Pflicht – nicht bloß der Pflicht gemäß – in der Welt; nicht das jenseitige Höchste Gute, wie es in der Mittleren Epoche Beweggrund des Handelns der rationalis creatura war, sondern das immer erst hervorzubringende höchste Gute, wie es das notwendige Objekt eines durch das moralische Gesetz bestimmten Willens ist.

Als Gegenstand seines Begehrens ist es a) unmittelbar das eines jeden Glück; dem fehlt jedoch der bestimmte Begriff, weil die betreffende Vorstellung aus einer bloßen Vielheit von empirischen Elementen zusammengesetzt ist; das endliche Denken hat von dem Ganzen der Glückseligkeit, nämlich vom Maximum des Wohlbefindens in der je eigenen Gegenwart und Zukunft nur eine leere Vorstellung. Wird sie b) zum Bestimmungsgrund des Willens erhoben und also die Eigenliebe zum beherrschenden Selbstverhältnis, verliert des Bekehrungsvermögen seine Vernunftbestimmtheit und hängt dem verwerflichsten Prinzip überhaupt an. Als vernünftiger kann der Wille nur eine Glückseligkeit begehren, welche c) durch die Würdigkeit zu ihr und also durch die Tugend vermittelt ist. Das Hervorbringen des höchsten Gutes in der Welt erfordert einen Willen, welcher der Glückseligkeit zwar nicht entsagt, wohl aber von ihr als einem Bedingten abstrahiert, um die Tugend als deren selber unbedingte Bedingung zu wollen.

Wird dies bedacht, springt heraus: Das Bewußtsein von dem hervorzubringenden eigentümlichen Gegenstand des sittlichen Denkens ist notwendigerweise Selbstbewußtsein.

So weit Kant; und hier die rousseausche Vorgabe zu seiner Conception:

Wieder wird die ratio terminorum von der Bestimmung eröffnet; auch hier: die Freiheit; jedoch nicht wie für die concipierende Vernunft im Gesichtskreis des Vernunftwesens, das zugleich Sinnenwesen ist, sondern des vom „physischen“ unterschiedenen „moralischen“ Menschen, dessen „Geistigkeit“ sich im Bewußtsein seiner Freiheit bekundet. Diese ist a) unmittelbar „von Natur“: die Willkür des Einsamen in der selbständigen Befriedigung von Bedürfnissen, die als natürliche auf die Selbsterhaltung hin beschränkt sind. Mit der zwar erklärlichen, aber grundlosen Vergesellschaftung wird b) die Willkür auf spontan erzeugte Bedürfnisse hin eingeschränkt; deren Befriedigung bringt gesellschaftliche Zwänge mit sich bis zum Extrem der Tyrannei in Familie und Staat. Rückkehr aus der Widernatur zur Natur kann nur durch c) Selbstbefreiung geschehen: Freiheit aus Freiheit, realisierte Selbstbestimmung.

Während in der kantischen Conception die Bestimmung unmittelbar vom Denken aufgenommen wird und von ihm her die Sache Gegenstand ist, hat die rousseausche Bestimmung an der Sache ihre unvermittelte Darstellung, und zwar im sich befreienden Menschen. Er ist a) unmittelbar die Seele des Selbstgefühls; ihrer natürlichen Güte wegen ist sie die „schöne“, als solche Liebe weckend – ihrerseits natürlich in der leidenschaftlichen Beziehung auf das eigene Selbst im anderen Ich. Die Seele aber verliert ihre Schönheit, weil Harmonie b) in der Selbstentzweiung: Gegensatz der Moral und ihrer Pflichten zur Natur und ihren Neigungen – Widerstreit von Neigung mit Neigung, von Pflicht mit Pflicht, sogar von natürlicher und vertraglicher (cf. Ehe) Freiheit. Wiederherstellung der Schönheit c) in der Versöhnung mit sich: Wahrhaftigkeit gegen sich selbst und seinesgleichen im Eingeständnis der Schwäche; die Natürlichkeit der Liebe

bleibt unüberwindlich – anders als die Eigenliebe im Besitzen-wollen des vergegenständlichten anderen Ich. Unendlichkeit des Selbsts im „höchsten Wesen“ und des Bewußtseins in einem „künftigen Leben“. Selbstbewußtsein im Gefühl der Selbstzufriedenheit in moralischer Bedeutung.

Das dieser Entwicklung der Sache entsprechende Denken ist a) unmittelbar Gefühl der Achtung für die natürliche honnêteté meiner selbst und meinesgleichen. Es wird gebrochen in b) der Erfahrung der Verächtlichkeit der gesellschaftlichen Welt, näher: in der Verzweiflung über den Gegensatz von Herz und Vernunft bei sich und seinesgleichen. Von solcher Reflexion befreit c) die Einbildung zuerst der Entwicklung der schönen Seele aus sich selbst, sodann der Erziehung des harmonischen Menschen, schließlich der Verfassung eines Gemeinwesens auf dem Grunde der Selbstbestimmung.

Das also poetische Denken urteilt: „le pays des chimères est en ce monde le seul digne d'être habité, et tel est le néant des choses humaines, qu' hors l'Etre existant par lui-même, il n'y a rien de beau que ce qui n'est pas“ (Oeuvres complètes, Paris 1964, II 693). Das Schöne ist ein Nicht-Reelles und dennoch Wirkliches, kein Gegenstand der Erkenntnis und ihrer Wissenschaft, sondern die einbildend zur Darstellung gebrachte „Menschheit“ des Menschen. Die Einbildungskraft nimmt im Selbstbewußtsein des unterschiedenen Ich eine ihr nie zuvor eigen gewesene Dignität an: sie gibt in einer Weise zu denken, wie vormalig nur der Schöpfer.

**Aufbruch des Selbstbewußtseins im rousseauschen Gedanken.** Etwa aus einem „Weiterdenken“ oder „Fortbestimmen“ des Bewußtseins? So kann das nur für den aussehen, der nicht selber in der Mühe und Not des geschichtlichen Unterscheidens steht, sondern von außen her „über“ das Getane reflektiert, obgleich ihm die Continuität des „Weiterdenkens“, in das er sich selber stellt, den Schein erzeugt, die sich selbst bewegende Seele der Geschichte zu denken.

Rousseau hat sich nicht nur von den „philosophes“ der Aufklärungs-Ideologie losreißen müssen, sondern auch von der Philosophie der Natürlichen und Weltlichen Vernunft, wie sie mit Descartes und mit Hobbes ihren Anfang nahm. Das besagte „Selbstbewußtsein“ bezieht sich genau auf jenes Bewußtsein, welches von der einen und der anderen Vernunft erbracht worden ist – zum einen als die Beziehung des vorstellenden Ichs auf einen ihm äußeren, weil wesensfremden Gegenstand, zum anderen als die Beziehung eines Gegenstandes auf ein ihm wesensverwandtes Ich, dessen Vorstellen aus ihm seinen Ursprung nimmt.

Anders als für Spinoza und Leibnitz, anders als für Locke und Berkeley stellt sich für Rousseau nicht die Aufgabe, das eine oder das andere Bewußtsein „fortzubestimmen“, sondern selber anzufangen – nicht eine Philosophie, wie sein Freund Hume, sondern die SOPHIA der Letzten Epoche unserer Geschichte. Im einen wie im anderen Bewußtsein erkennt er eine Verdrängung des Selbstbewußtseins, wie denn auch im animal rationale und im animal sociale eine um ihre Ursprünglichkeit gebrachte „Menschheit“ des Menschen.

Rousseau stößt die bewußtseinsmäßigen Grundlegungen zum einen der physischen, ethischen und logischen Wissenschaften ab, zum anderen des Verstandes der politisch, ökonomisch und religiös bestimmten Gesellschaft – die eine wie die andere

Seite kommt in der Aufklärungs-Ideologie zur Welt. Tiefer als die Philosophie trifft sein Anfang jedoch die Weisheits-Gestalt der Mittleren Epoche, wie sie in die Letzte Epoche als eine Gestalt des Wissens durch den jesuitischen Dogmatismus (insbesondere Suarez) überliefert wurde oder aber erneuert als eine Gestalt des Glaubens durch Luther und Calvin – mit einem Unterschied, welcher denjenigen des besagten Natürlichen und Weltlichen Bewußtseins vorbereitet.

Die Religion des Selbstbewußtseins – es hat seine Bildungs-Geschichte in der „Nouvelle Heloise“, einem Werk, das Hume bemerkenswerterweise gegen Rousseaus eigenes Urteil dem „Contrat social“ vorzog (III, CIII) – muß das Christliche Wissen der Mittleren Epoche verabschieden: nicht nur den Glauben als Gnade, sondern vor allem die paradoxe Herrlichkeit des Gekreuzigten und folglich die durch ihn zur Welt kommende Gerechtigkeit Gottes. Das Prinzip der Selbstbestimmung kann nur den „göttlichen Menschen in uns“ als Selbst in absoluter Bedeutung zulassen.

Die Mittlere Epoche unserer Geschichte hatte sich längst geschlossen. Ins Reine mit sich kommt deren Letzte Epoche erst dort, wo sie ihre eigene Weisheit ausbildet. Eine Weisheit, welche in ihrer Vernünftigkeit concipierbar ist; und sie ist dies, indem sie die „Menschheit“ des Menschen zur Sprache bringt, an der die Freiheit als epochales Prinzip ihre Gegenwart hat – dargestellt an der „schönen Seele“, welche Julie ist. Schnitt um Schnitt und so auch Schmerz um Schmerz trägt sie die Unterscheidung des Ich aus, deren die Konstitution des Selbstbewußtseins bedarf, dem der Mensch dieser Epoche als geschichtlicher zu eigen ist.

## Tacitus und Rubens: Zwei Bilder von Senecas Tod

Von Gregor Maurach

### Erster Teil

Kaum ein anderes Kapitel des Tacitus\* hat eine so mächtige Nachwirkung ausgeübt wie das über Senecas Tod: es war einer der Haupttexte für den Neostoizismus [1], an ihm schieden sich die Wertungen dieses Mannes [2], und deren gab es zahlreiche. Das Kapitel ist daher oft kommentiert [3], aber noch immer nicht in allen Details interpretiert worden; hier sind noch einige Dinge nachzutragen. Dieses Kapitel hat auch ein bedeutendes Kunstwerk angeregt und mitbestimmt, Peter Paul Rubens' „Der sterbende Seneca“. Und auch dieses Werk, oft besprochen und ins Gesamtwerk von Rubens eingeordnet, aber nicht selten auch fehlgedeutet, harrt noch der Interpretation; einiges soll auch hierzu beigetragen werden.

### I.

Der Bericht des Tacitus über die Aufdeckung der Pisonischen Verschwörung beginnt bei ann. 15.51.4: der Verhaftung der Epicharis, und wird fortgeführt mit der Denunziation durch Antonius Natalis (56.1). Dieser nennt, ins Verhör genommen, Piso und Seneca als Hauptverschwörer, letzteren (so meint Tacitus) vielleicht nur, um Nero willfährig zu sein (56.2): der Haß des Kaisers war nicht wenigen sehr wohl bekannt [4]. Von nun an ergehen kaiserliche Todesbefehle, und Tacitus zeigt an den Reaktionen die Qualitätsunterschiede der Betroffenen.

Lucan, Senecas Neffe, denunziert in seiner Angst gar die eigene Mutter (56.4), andere zeigen andere Mitwisser an, Epicharis aber läßt sich auch unter furchtbarsten Martern kein Wort entlocken (57; vgl. 51.1); C. Piso tötet sich mannhaft selber, im Testament schmeichelt er dem Kaiser, um das Legat an die Gattin zu retten (59.5), die eigentlich wenig taugte (ebd.) [5]. Dann weitete sich die Rache zum Pogrom. Lateranus wird hastig von einem Tribunen umgebracht, er trägt den Tod in tapferem Schweigen (60.1). Dann die Tötung Senecas (*caedes*), dem Kaiser hoch willkommen (*laetissima*: 60.2). Auch er reagiert auf den Todesbefehl *interritus* (62.1; vgl. §4) und stirbt tapfer und unter tapferen Reden von eigener Hand. Faenius Rufus dagegen leugnete und wird in Fesseln gelegt (66.2), er legt seine *lamentationes* gar schriftlich nieder (68.1 Ende); ganz anders Subrius Flavus (67), der dem ihn tötenden Tribunen tapfere Worte zuruft (§4) [6]; auch der Zenturio Sulpicius Asper weiß so zu sterben (*exemplum constatae*: 68.1; cf. 60.1

Das Folgende sucht u.a. das zu ergänzen und zu korrigieren, was ich in der „Geschichte der römischen Philosophie“ (Darmstadt 1989), 127, A. 186 und in: Seneca als Philosoph, Wege d. Forschg. 414 (2 1987) zu diesem Thema vorbrachte.



Ende; 16.25.1). Vestinus, der Konsul, wird (wie Lateranus) in aller Eile getötet: im verschlossenen Schlafzimmer, ein *medicus* ist zur Hand [7], um die Adern zu öffnen, noch lebend wird der Mann im Warmwasser ersäuft, kein Wort ging über seine Lippen (69.2). Dann stirbt auch Lucan, der zunächst sein Leben durch eine besonders verwerfliche Denunziation hatte retten wollen (56.4), gefaßt und mit den Worten, die er einem der tapfer sterbenden Soldaten in seinem *carmen* in den Mund gelegt hatte (70). Die Verschwörer sind nun Tot (70.2), doch der Pogrom geht weiter und weiter (71.1 Anf.): eine allgemeine „Reinigungsaktion“, die sich steigert.

Denn Nero tötet in einem Wutanfall tierisch die eigene Frau (16.6.1); Silanus wird, trotz wilder Gegenwehr, erstochen (9.2) und Antistius Vetus wird (wie Vestinus) im Schlafrum durch Adernöffnung, dann im Bade durch Erstickten zu Tode gebracht (16.10 f.): ein *foedus annus*, das schmutzige Jahr 65, geht zu Ende (13.1). Es sollte damit noch nicht sein Bewenden haben. Die Wut des Tyrannen entlud sich in weiteren Morden an Männern, die irgendwann und irgendwie ihn gestört hatten.

P. Anteius muß sterben (16.14.1); er nimmt Gift, es wirkt zu langsam, so werden, um die Sache zu beschleunigen, die Adern geöffnet (14.3). Schlimmer starb sein Mitangeklagter, besser: „Mitverurteilter“ (§ 3 Anf; Anklage wurde gar nicht erst erhoben) Ostorius: als die geöffneten Adern zu wenig Blut förderten, ließ er sich in den Hals stechen (15.2 Ende) [8].

Nach einem kurzen Trennstück über Außenpolitik kehrt Tacitus zu dem diese „schmutzigen Jahre“ beherrschenden Geschehen zurück: Annaeus Mela, der Vater Lucans und Onkel Senecas, muß sich die Adern öffnen; Rufrius tötet sich selber – alles noch Nachgewitter der Verschwörung (17.2). Beide starben tapfer, wie es einem römischen Ritter und Senator entspricht (17.1). Dann Petron, der „Nichtstuer“ (18.1). Als der Todesbefehl kommt, legt er sich aufs Speisebett, sein Tod sollte natürlich aussehen (19.2 Ende): so besiegte er die Tötenslust des Kaisers [9]. Er besprach nicht Philosophisches wie Sokrates und Seneca, sondern ließ sich leichte Muse vortragen (19.2 Ende). Wie er starb, sagt Tacitus nicht. Auch er ein Mann ohne Todesangst, aber doch ganz anders als Sokrates und Seneca (auf die das *nihil de immortalitate animae et sapientium placitis* weisen mag), ganz anders als Thrasea Paetus und Barea Soranus (ann. 16, 21 ff.); d.h.: der Petronius-Tod ist ein künstlerisch, also bewußt eingesetzter Kontrast zu beiden Flanken des Mordgeschehens.

Die zweite Flanke ist das zweifache Unrecht an den Stoikern Clodius Thrasea Paetus und Barea Soranus; Senecas Tod wurde in ca. 70 Teubnerzeilen dargestellt; der von Thrasea in mindestens doppelt so vielen. Die Steigerung ergibt sich auch aus der Einleitung des Berichtes: „Nachdem so viele ausgezeichnete Männer ermordet worden waren, suchte Nero die Tugend selber auszureißen“ (16.21.1). Die „Tugend selber“: Seneca war ihm nicht Repräsentant der *Virtus ipsa*, nicht Philosoph [10], sondern redegabt und von „anstandsvoller Freundlichkeit“ (*comitate honesta*; ann. 13.2.1); Thrasea und Barea [11] dagegen verkörperten *virtutem ipsam*.

Diese vielen gräßlichen Tode wurden hier aufgezählt, damit deutlich würde, wie Senecas Tod in einem eng geknüpften Zusammenhange steht. Nicht nur steht er im Verbund der unterschiedlichen Tapferkeitsproben (die einen sterben tapfer, die anderen

schwächlich; Lucan weiß sich aus der Schwäche zu überlegenem Hinscheiden zu retten), sondern auch in einer Klimax [12], denn der Tapferkeit werden von Tacitus drei Qualitäten an- und zugemessen: die einen starben aufrecht als Soldaten, die anderen als römische Adlige, Seneca und die Stoiker als der Philosophen Verpflichtete. Seneca und die stoischen Oppositionellen stehen – die Kontrastfigur Petron verdeutlicht den Philosophiebezug – zudem in der Steigerungslinie von Philosophie-Nähe zu *virtus ipsa* [13].

Doch ist es keineswegs so, daß die Berichte dermaßen stark aufeinander bezogen wären, daß der Eindruck entstünde, sie ermangelten deswegen der Eigenständigkeit [14]. Vielleicht ist der Sieg des Gemordeten über den Mörder im Falle Thraseas deutlicher, denn er macht sich durch seine Worte zum Belehrer des Urteilsvollstreckers und zum Exemplum für ihn, wie er selbst solchen folgte (ann. 16.26.3); vielleicht ist auch die gewisse Wort-Theatralik des Seneca-Todes [15] von Tacitus durch die Tatkraft Thraseas überboten; vielleicht ist es auch so, daß der Thrasea-Tod als noch schlimmer für Rom hingestellt wird, weil der Mann, so sehr er Seneca ähnelt, doch zeit seines Lebens reiner (s. ann. 16.25.2) war vom Vorwurf des Wohllebens und des Kaiserdienstes. Es genüge also die Feststellung, daß der Seneca-Bericht nicht isoliert, sondern bezogen gelesen werden will.

## II.

Wenn wir nun also davon sprechen, wie der taciteische „Bericht“ gelesen werden könnte, stellt sich da nicht vor allem die Frage, ob er ein wirklicher Bericht sei oder Produkt der schriftstellerischen Kunst? Muß die Frage heißen, die wir ihm zu stellen haben, „War es so?“ oder: „Welchen Eindruck will Tacitus bewirken?“ – oder wie sonst?

Fragen wir also, ob es so war, wie Tacitus berichtet. Doch welches Kriterium hätte man? Einerseits die Quellenlage, andererseits die innere Stimmigkeit.

Beginnen wir mit dieser. Eine Denunziation steht am Anfang – ob sie zu Recht oder Nero zu Gefallen geschah, läßt Tacitus offen [16]. Es scheint, als habe Seneca von der Verschwörung gewußt: just am Tage des Losschlagens traf er wenige Meilen vor Rom nach einer Reise ein, *forte an prudens* (15.60.4), das bleibt erneut offen. Doch die sehr kryptische Botschaft an Piso [17] deutet eher auf ein gewisses Eingeweihtsein. Dies alles mag zusammenstimmen, mag ein Abwarten andeuten, wie die Sache ausgehen werde. Aber die Stimmigkeit ist natürlich nur die des andeutenden Tacitus.

Psychisch überzeugend ist auch das Motiv, das Nero zum Todesbefehl trieb: Senecas Gelassenheit (61.2); wir würden sagen, Nero fühlte sich durch die Angstlosigkeit provoziert: da knickt einer nicht sofort ein. Weniger gut ist motiviert, daß der befehlstragende Tribun Gavius, selber Mitwisser (50.3), einen Umweg zu einem anderen hohen Amtsträger geht, zu Faenius (*praefectus annonae*, ebenfalls Mitwisser: 15.50 und 53), um sich Gewißheit darüber zu holen, ob er den Befehl überbringen solle oder nicht. Gewiß, Tacitus beruft sich auf Fabius Rusticus (61.3), wollte aber der (oder Tacitus) vielleicht nur Faenius mit in den Kreis der heuchelnden Feiglinge ziehen? Wieso sollte gerade Gavius Zweifel hegen? Freilich, später begeht er Selbstmord, Köstermann

meint: aus schlechtem Gewissen (71.2) – aber ist das sicher? Wahrscheinlich mag es sein, und wer es dafür hält, mag sagen, der Umweg voller Skrupel passe zu solchen Gewissensplagen. Deswegen mochte er vielleicht vor Seneca nicht hintreten mit seinem Auftrag (er schickte einen Zenturio [18], das alles zu besorgen): 61.4. Zumindest darf man sagen, daß diese drei Andeutungen (Tacitus ist hier nicht detailreich) zueinander passen.

Der Zenturio – was tut er? Er verbietet zunächst die Ergänzung des Testaments (mit seinen Kodizillen: 15.64.4 fin.): 62.1. Warum? Köstermann meinte, der Mann habe dafür gesorgt, daß dem Kaiser keine Erbschaft (wie üblich, war hohes Legat zu erwarten [19]) entginge. Man könnte auch an Eile denken – aber man wartete ja dann doch lange. Oder galt Seneca eher schon als *damnatus* denn als *reus* (vgl. 16.14.4), so daß er kein Recht mehr hatte [20], über sein Testament zu verfügen? Ferner beobachtete der Zenturio das Geschehen und ließ Nero (gewiß durch reitende Boten) den Selbsttötungsversuch der Paulina mitteilen (Meldung und Rückmeldung dauerten wohl gut eine Stunde und gaben Seneca Zeit zu Rede, Schierlingsversuch und Opfer an Jupiter Liberator). Ob er am Ende, als Seneca noch immer nicht tot war, die Erstickung anordnete, ist ungewiß, aber sehr wahrscheinlich. Nicht allein, weil Cassius Dio es so berichtet (62.25.2), sondern, weil das oft so ablief (z.B. 14.64.2; 15.69.2; 16.11.2): eine noch erträgliche Form der Schwächung, dann brutales Ersticken [21].

Sind nun aber die Phasen des Sterbens in sich stimmig? Nein, denn Tacitus legt doch deutlich genug nahe, daß er (oder gar Seneca selber) dieses Sterben dem des Sokrates anähnelten [22] – wieso beginnt Seneca, wenn er denn sterben wollte wie Sokrates und schon seit längerer Zeit Schierling hatte bereithalten lassen [23], dann nicht mit dem Gifttrunk, sondern mit der Venenöffnung? Das übrige paßt zusammen – der langsame Blutfluß (vgl. 14.64.2 Anf.; 16.15.2) trotz mehrfacher Schnitte [24], Nachhilfe [25] mit Gift (umgekehrt 16.14.3 [26]), am Ende die Erstickung (s. A. 21); nur der Beginn mit dem Aderschnitt will nicht passen (so auch Döring 38 f., doch ohne Lösung des Rätsels). Daß Seneca Schierling seit längerem griffbereit hatte, muß nicht zur Annahme einer Sokratesnachfolge zwingen [27], andere Exponierte taten desgleichen, ohne an den Athener zu denken [28]. Doch mit den übrigen Indizien zusammen, ist Sokratesimitation des Naheliegende, und bisher hat niemand an ihr gezweifelt – warum also begann Seneca nicht mit dem Gifte?

Zeit hätte man ihm wohl gelassen [29], aber hatte er die freie Wahl der Todesart [30]? Ich denke mir die Lösung des Rätsels so, daß Seneca nicht das *arbitrium mortis* hatte und somit gezwungen war, mit dem üblichen Aderschnitt zu beginnen, von dem der Erteiler des Todesbefehls annehmen durfte, daß er *promptissima mortis via* sei (16.17.5) [31]. Als die Aderöffnung dann, obschon an mehreren Stellen vorgenommen wie bei Octavia, nicht die gewünschte Wirkung zeigte, „bat“ der Gequälte um das Gift es war ja nicht vom Zenturio vorgesehen. Auch dies wirkte nicht (16.14.3) [32] – da riß dem Zenturio die Geduld: Seneca wurde ins Bad geschleppt und erstickt wie Octavia, wie Vestius, wie Antistius Vetus.

Wer also dem Versuch der Rekonstruktion der „Rechtslage“ zustimmen möchte, würde dann auch die Abfolge der Sterbensphasen für stimmig und auch für überein-

stimmend mit Senecas Ansicht über Selbsttötung und Gift halten. Ja, man muß (mit Döring 40 u.a.) [33] feststellen, daß dieser als *exemplum* gestorbene Tod ganz und gar mit Senecas Ansicht von der Wirkmächtigkeit echter Vorbilder übereintrifft (cp. 98, 12 ff. z.B.).

### III.

Alles in allem: der taciteische Bericht *kann* (mehr ließe sich nicht behaupten) das wirklich Geschehene widerspiegeln – vorausgesetzt, die Schwierigkeit der Phasenabfolge, (daß einer, der sterben wollte, wie Socrates [34], mit der Aderöffnung begann) ist behoben.

Nun aber die Frage nach dem zweiten Kriterium (s. oben Abschnitt II Auf.), dem der Quellenbezeugung: auch wer meint, aus der Nennung des Seneca-Freundes [35] Fabius Rusticus in 15.61.3 ableiten zu dürfen, daß Tacitus sich auch sonst auf dessen Bericht von Senecas Tod gestützt habe, wird zugegeben, daß die Annalen lediglich *eine* Version, die im Umlauf war, wiedergaben, und zwar eine dem Seneca freundliche (sehr anders Cassius Dio).

Man vergißt zuweilen, daß die inkriminierte Phasensequenz (Aderöffnung, Gift) auch bei Hieronymus vorliegt. In der Chronik des Hieronymus, (ed. R. Helm, Bd. 1, 1913, S.184) fürs Jahr 66 p. Chr. liest man: *L. Annaeus Cordubensis praeceptor Neronis et patruus Lucani incisione venarum et veneni haustu perit*. Niemand zweifelt heute daran, daß diese Nachricht aus Sueton [37] stammt und wahrscheinlich nicht einfach von Tacitus abhängt, sondern auf dessen Quelle zurückgreift [38], auf Cluvius Rufus (Tac. ann. 13.20.2; 14.2.1 f.). So kämen wir mit dieser Notiz, d.h. mit dieser Parallele zum Phasenablauf bei Tacitus, auf eine zeitgenössische Quelle. Doch wie verlässlich war sie? Immerhin: die Abfolge war oben sowohl als üblich erwiesen (Adernöffnung der „prompteste Weg“) [39] wie auch als juristisch glaubhaft gemacht worden, und nun tritt ein weiteres Zeugnis hinzu: man gewinnt den Eindruck einer gewissen Verlässlichkeit der Nachrichten (nota bene: nur von denen über die Phasenfolge ist hier die Rede) [40].

### IV.

Dies hat sich bisher ergeben: neben einigen Details vor allem die Rechtfertigung der taciteischen Phasenfolge, und die eingangs gestellte Frage, ob man nach dem „Wie es war?“ oder nach dem Eindruck fragen sollte, den Tacitus erregen wollte, kann man jetzt vielleicht so beantworten: Wenn man einmal wagt, die taciteische Abfolge des Geschehens unter Zufügung der hier beigebrachten Details als zutreffend in dem Sinne hinzunehmen, daß sie das wirkliche Geschehen korrekt wiedergibt, dann erhellt, daß Tacitus einige technische Einzelheiten fortließ, wie sich aus folgender Übersicht ergibt (das Fortgelassene in eckigen Klammern):

**Auftritt der Zenturionen** (Überbringen des Todesbefehls [mit der Aufforderung zur Aderöffnung, da kein *liberum arbitrium mortis* gewährt; daher] Verbot der Testamentsänderung).

**Dreitgeteilte Ansprache** (an alle [41]; an die Freunde in Sokrates-Imitation, aber mit der schönen Einzelheit des „Bildes des Lebens“: an die Frau unter Hinweis auf die Lehre der Schrift *Ad Marciam* [42]).

**Aderschnitt** (kaum von eigener Hand schon gar nicht *eodem ictu*: ann. 63.3 Anf., Z. 10 Wellesl.; Nachschnitte ähnlich Octavias Qual; [Botenritt zu Nero]).

**Gifttrank** [als Nachhilfe, vgl. ann. 16.15.2].

**Erstickung** [wahrscheinlich, wie Cassius Dio berichtet, durch die Soldaten wie oft sonst bezeugt].

Hier müssen die Technika der Rechtslage, des Botenrittes und die Quelle der Initiative am Ende ergänzt, können Hinweise auf Senecas Schriften zugefügt werden und manches mehr – Tacitus wollte aber nur diesen Doppeleindruck: die sich steigernde Gräßlichkeit der Abschachtung (*caedes*) und wachsende Tapferkeit in „Inszenierung“ und Ertragen. Wer da genau zuhört (*orat*, Wechsel der Verba, nicht zuletzt die erzwungene Todesweise, bzw. die Unterbindung der gewünschten, der nämlich durch das sokratische Gift), der mag dem taciteischen Seneca-Kapitel noch etwas mehr an verborgener Grausigkeit ablauschen als bisher geschehen.

Von „leiser Ironie“ (vgl. A. 15) oder von den vielfachen Vorwürfen der bloßen Theatralik wird man nicht gern reden wollen (davon ist der Text selbst ganz frei [43]); wohl aber davon, daß Tacitus eine *imago mortis* malte, die Seneca als Bewahrer seiner eigenen Lehre zu loben mußte [44]. Wer abstrakte Etikettbeschreibungen schätzt, mag von der *constantia* sprechen, die Seneca so gern apostrophierte; Tacitus betonte mehr die Furchtlosigkeit (61.2; 62.1): er verwendet aber keine Etiketten, er beließ es beim Bilde.

## Zweiter Teil

### I.

Am 8. Juli 1601 reist Rubens zum ersten Male nach Rom [45], seit Februar 1606 hält er sich erneut dort auf (ebd. 19); beide Male kopiert er Antiken [46], offenbar auch den „Seneca“, der seit 1600 im Besitz des Borghese war, nachdem er in den Weinbergen auf dem Esquilin ohne Unterarme und Unterschenkel [47] gefunden und ergänzt worden war. Ergänzt zu einem Seneca deswegen, weil ein geistreicher Kopf das Alter des Dargestellten, die gleichsam erwartende Haltung des Körpers (Epiphanie – Erwartung) und das Fehlen der Unterschenkel (er dachte ans Stehen in der Warmwasserwanne: Tacitus, Annal. 15.64 Ende) kombiniert und einen Bildhauer angewiesen hatte, die Arme entsprechend zu ergänzen. Hinzu kam, daß eine anonyme Büste mit ähnlich aufschauendem Kopf schon vorher auf Seneca gedeutet worden war [48] und somit eine die Identifikation der Statue stützende Parallele ergab. Diesen „Seneca“ [49] kopierte Rubens in mehreren Ansichten und Techniken [50], d.h. in einer Art „Rundumerkundung“ [51]. Im Jahre 1608 oder 1610 [52] malte er mit Hilfe einer Statue das Sterben Senecas. Da dieses heute in München befindliche Gemälde manchem Mißverständnis ausgesetzt ist, sei es hier genauer besprochen.

## II.

Den Blick zieht auf Rubens' Gemälde sogleich der kraftvoll frontal in die Bildmitte gestellte, helle, wie beim Pariser Angler bis auf ein weißes Lendentuch nackte Leib des sterbenden Seneca. Seine Gestalt reicht fast bis zum oberen und unteren Bildrand und läßt neben sich nicht sehr weite Räume frei, sie beherrscht die Szene aufs deutlichste. Bis auf das Haupt ist dieser Körper von lebendiger, zuweilen durch feines Rot frisch wirkender Farbigkeit. Noch steht er aufrecht da, alt zwar, doch ungewöhnlich muskulös; aber, obschon das Antlitz erhoben ist, knickt der Körper in Weichen und Lenden ein, beginnt zusammenzusinken. Die Beine stehen dabei bis zur halben Höhe der Unterschenkel im Wasser eines Messingbeckens; das linke ist ein wenig vor das rechte gestellt (es ist in dem noch klaren Wasser deutlicher zu sehen, denn es ist ins Licht gerückt), es ist das Spielbein. Das rechte ist eigentlich das Standbein, doch es knickt im Knie ebenso ein wie der Körper in den Lendenwirbeln: der Eindruck beginnenden Zusammensinkens ist hinreichend deutlich. Die Arme, von schweren, muskelbeladenen Schultern ausgehend (Seneca trieb ja bis zuletzt Leibesübungen und schwamm gut: ep. 53,3), sind in gegenstrebige Richtungen gestreckt: der linke ist hinabgeführt, dabei leicht gewinkelt, doch die Hand ist gespannt und geöffnet. Den Oberarm hat ein Arzt, mit schwerer Hand den Unterarm Senecas, den er in weißes Tuch gelegt hat, haltend und stützend, abgebunden, denn eben gerade – er hält in der Rechten noch das Skalpell – hat er unterhalb des Ellenbogenknickes den tödlichen Schnitt gelegt. Blut rinnt aus dieser Wunde herab und in das weiße, bis auf den Beckenrand herabhängende Tuch; es spritzt aber auch hinunter in das jetzt noch klare Wasser des Beckens. Senecas Rechte dagegen ist, ebenfalls leicht angewinkelt, erhoben. Und auch hier ist die Hand gespannt geöffnet, jeder Finger nimmt eine eigene Stellung ein, wiewohl alle sich nach vorne recken, als wollten sie etwas empfangen. Gespannt wirkt diese Hand, ohne angestrengt zu sein; gespannt auf etwas, das da erscheint, das aufmerksam und sensibel wahrgenommen wird.

Auch das Antlitz ist so gemalt: es nimmt wahr und empfängt. Und doch zeigt sich in ihm auch wieder ein Kontrast, derselbe Kontrast nämlich, welcher den Leib und die Beine beherrschte: der von Leben und Vergehen. Dieses Gesicht ist, im Unterschied zum Leibe, fahl, in ihm ist der Tod. Das rechte Auge des Philosophen (von uns aus das linke) vergeht bereits und dreht sich nach oben (Nahaufnahmen bei Müller Hofstede im Wallraf Richartz-Jahrbuch und bei Hess). Sein linkes dagegen erschaut etwas, schaut hinauf zu etwas, das ihm erscheint. Groß und ruhig blickt es, aber auch so, als sähe es etwas längst Bekanntes, und darum liegt auf diesem Gesicht auch etwas Frohes, Erfülltes, auch wenn die Stirn schmerzzerfurcht ist. Der Mund, bereits bläulich verfärbt, steht geöffnet – eben noch hatte er gesprochen und den Anfang desjenigen Wortes genannt, welches das Leben Senecas bestimmt hatte: Virtus; weiter war nichts zu hören gewesen, wie die Seite im Heft des Schreibenden links neben Seneca zeigt. Jetzt ist dieser Mund, auch er ein vergehender, stumm geworden; doch die Oberlippe ist ein wenig hochgezogen, gibt einen Teil der Zahnreihe frei wie beim Hl. Laurentius [53] – Zeichen des Sterbens wie auf griechischen Vasen? Oder Zeichen auch des Vernehmens? Sterben und Erschauen, Schmerz und ein Schimmer von erfüllter Freude,

Freude über das Erblicken eines längst Bekannten, lange Erwarteten – all dies mischt sich in diesem Antlitz zusammen.

Um diese Gestalt sind, eine Ovalform andeutend, vier Menschen gestellt. Links von uns in Hintergrund steht, im ganzen hoch aufgerichtet und die Szene von schräg hinten betrachtend, aber doch auch ein wenig zu ihr gebeugt, ein älterer Soldat mit Helm und Lanze. Sein Gesicht ist hell beleuchtet, das Licht fällt von links (von uns aus gesehen), von schräg vorn auf die Szene. Über einem mächtigen Schnauzbart ruhen zwei Augen, die das Geschehen gemessen und würdig registrieren, nicht ohne eine Zumischung von Anerkennung; sie blicken keineswegs dumpf und stumpf, wie einmal behauptet worden war [54]. Sie blicken so, als drückten sie, die tausend Tode gesehen haben, ein leises Staunen über das Sterben aus, das da tapfer sich vollzieht. Vor ihm steht ein anderer Soldat, er ist jünger und trägt weder Helm noch Lanze, er ist wohl ein Offizier. Seine Rechte, merkwürdig grazil im Vergleich zu ihrem schweren Unterarm, hält (ganz in der Nähe von Senecas rechter Hand und dem leidenschaftlichen Kopf des Kauernden) einen Stabknauf gefaßt; über seinem dunkel schimmernden Panzer liegt, von der rechten Schulter zur linken Hüfte hinabgeführt, eine dunkelrote Schärpe in Form eines wellig-bauschigen Tuches, das auf der Schulter von einer goldenen Spange gehalten wird, auf der ein Bildnis zu sehen ist, wohl eine Kaiserbüste (Nahaufnahme bei White 80). Sein Gesicht drückt Anteilnahme, ja Schmerz aus; es ist so weit nach vorn in den Bildvordergrund gehalten, daß es dem Sterbenden ins Antlitz zu schauen vermag, so, als wolle es sagen: „Warum nur muß ein so guter Mann sterben?“ [55].

Unter Senecas Hand ist dann ein junger Schreiber abgebildet; er hockt anscheinend auf einem Schemel, der Unterleib ist tief eingezogen, der Kopf nach vorn gereckt, die Augen nach oben, ohne Seneca in die Augen zu schauen: verzweifelt und gespannt lauscht er, ob er noch ein letztes Wort, die Fortsetzung des Gesagten (Vir...) erhasche. Die überraschend feine Offiziershand, die überaus sensitive des Philosophen und der leidenschaftliche Kopf des Jünglings bilden ein reizvolles Dreieck, das White S. 80 abbildet. Die Rechte des Schreibenden hält die Gänsefeder und Heft oder Schreibbuch, die Linke umgreift das Tintenfaß und drückt die eingerollte linke Hälfte des Buches – bereit zu schreiben, doch es wird nichts mehr zu hören sein. Raffaelesk [56] die Haltung des Oberkörpers und Kopfes, von unten nach oben schräg hinaufgedreht. Von uns aus gesehen rechts steht zu Senecas Linker ein Arzt; er hält den bärtigen Kopf gesenkt, blickt auf den Arm, den er gerade eben aufgeschnitten, hält fürsorglich und kraftvoll den Unterarm des Freundes – ganz auf sein Tun konzentriert, als sei diese Genauigkeit ärztlicher Verrichtung der letzte Dienst, den er dem befreundeten Manne erweisen könne.

Am Boden die Wanne, helles Messing, auf dem breiten waagrechten Rande liegen hinten, wo das Tuch von des Arztes Hand hinab auf den Beckenrand fällt, dunkle Blutstropfen, vorn dagegen helle Wassertropfen. Von uns aus gesehen links sind Bücher [57] neben das Postament des Beckens gelegt, eines ist aufgeschlagen, das andere liegt geschlossen – hat der Wortmeister für die letzte Ansprache, aus der ihn eben gerade Tod und Erschauen abrufen, noch rasch etwas nachgeschlagen lassen? Oder wollte Rubens andeuten, daß Buchwissen und Schriftforderungen, wie sie Senecas Bücher enthielten, nun durch dieses Sterben bewährt und bewahrheitet werden?

### III.

Zunächst ist deutlich genug, daß Rubens den Tacitus-Text gleichsam zitiert: Soldaten, Schreiber und letzte Worte, Aderöffnung und Becken. Aber schon das hervorschießende Blut weicht von ihm ab, da er geschrieben hatte, Blut sei nicht genügend geflossen (63 n. M.). Es fehlt die Frau, es fehlt das Gift; und der bössartige Zenturio hat sich verwandelt, aus Schreibern und treuesten Dienern ist der eine Kauernde geworden. Aus der Abfolge von Phasen wurde der eine Moment – welcher? Zunächst der Augenblick hoher und starker Anteilnahme (Soldaten und Diener), von der bei Tacitus nichts steht. Rubens zeigt, wie dieses Sterben die Umstehenden in Erregung versetzt [58]. Und so legt sich ein Kreisen von Hinauf und Hinab [59], immer aber auf Seneca zu, um diesen Leib, der da in dreifacher Weise im Augenblick des Nichtmehr und Schon gezeigt wird. Noch steht der an sich mächtige Leib, aber schon knickt er ein; noch spannt sich die Rechte einem Erscheinen entgegen, schon aber rinnt das Blut aus dem linken Arm; noch schaut sein linkes Auge hinauf zu einer Erleuchtung, doch das andere lebt nicht mehr; noch stehen die Lippen offen, aber (bläulich verfärbt) vollenden sie weder Satz noch Wort.

Man hat da von „eisiger Erstarrung des Menschen unter dem Postulat der Apathie“ gesprochen (Warnke, Kommentare 26), von „Fortunae Resistere“ (Müller Hofstede [60]) von „Adel und Stärke“ (White 78) und von der „ungeheuren Gewalt der philosophischen Überzeugung, von der Seneca durchglüht war“ (Köstermann 305) – ja, wollte Rubens denn eine Allegorie malen? Er malte aber nur eben den einen Augenblick in Senecas Leben, den Übergang – warum? Weil er (die Gedanken- und Wissenswelt des Lipsius war ihm ja nahe) wußte, daß für Seneca das Sterben das Siegel [61] war, der Entscheid über seinen Wert und zugleich der Eingang in eine herrliche Welt [62].

Halten wir fest: ein vielfältiges Geschehen in einem sehr besonderem Augenblick ist dargestellt, sehr konkret, genau durchdacht. Das Gemälde bedarf keiner Abstraktionen und Assoziationen [63].

Es ist auch kein „Epitaph“, weder auf Lipsius (an den Rubens gewiß viel gedacht hat) noch auf den Bruder Philipp (so meinte Hess 225) – es ist nichts als das allerdings vielfältige Bild der Magna Mors [64] eines „vorzüglichen Mannes“ (*insignis vir*: Tac. ann. 16.21.1), vielfältig nicht nur, weil mit dem Betroffenen ein Doppeltes geschieht – Vergehen und letzte Vision –, sondern weil dieses Sterben auch auf die Umstehenden vielfältig einwirkt: der letzte Atemzug Senecas zwischen dem Hier, das er bis zuletzt – VIR...! – zu erfüllen sucht, und dem Drüben, das er bereits schaut. Keine Allegorien, keine Etikettenbeschriftung: Rubens beließ es beim Bilde, das wie in aller bedeutenden Kunst so auch hier ganz konkret ist, ganz und gar augenblicklich, auch wenn es Anlaß gibt zu mancherlei Gedanken.

### Zusammenfassung

Was wäre, wenn von all dem Gesagten wenigstens die Hauptsachen richtig sind, gewonnen? Vielleicht eher etwas Methodisches als Inhaltliches. Es kam ja darauf an zu erkennen, wie der Text des Tacitus eine Wechselfolge von eher benachrichtigenden



Partien ohne besondere Aufforderung, sich etwas bildlich vorzustellen, mit solchen Stellen ist, die innere Anschauung ermöglichen. Gewiß liegt ja auch in der nüchternen Ausdrucksweise *tum iussam poenam subiit* (ann. 15.68.1) ein Anreiz, sich das Gesagte auszumalen, (erst ergeht ein Befehl, dann wird die Tötung vollzogen), aber das bleibt im unbestimmten. Sonst aber handelt es sich vorwiegend um genaue Anschauung herausfordernde Partien; d.h.: abwechselnd um kürzere, also weniger bedeutungsschwere, und um längere, breit ausgemalte. Der Wechsel von Kürze und Ausführlichkeit ist ein Wechsel von Talsenken in der Erzählung und Höhepunkten (man denkt an das *ex intervallo surgere*, Sen. ep. 46.2). Und diese Abfolge ist nun wieder eingeordnet in eine Steigerung (man erinnere sich an den Höhepunkt des *virtutem ipsam excindere* in 16.21.2). Wichtig also war es zu erkennen, wie Tacitus den Tod Senecas eine Bildfolge dargestellt, wie er deutlich der Anschauung den Vorrang gegeben hat und wie er darum Sachliches, dem Zeitgenossen gewiß leichter als uns Zufügbares fortließ: Juristisches oder auch Ergänzendes wie einen Hinweis darauf, daß bei Senecas Sterben Melder zugegen waren, usw.

Um die Betonung des Anschaulichen geht es auch im Falle des Rubens-Gemäldes. Weniger wichtig war da, was er aus den Schriftquellen übernommen, was er von der Angler-Statue übertragen hat; wesentlich war, das Gemälde vor den bläßlichen Allegoresen zu retten: es geht nicht um „Apathie“, um „Überzeugung“ oder „Widerstandskraft“ und „Adel“, es geht um eine Darstellung des *einen*, doch so komplexen Augenblickes. Daß man danach dann allerhand Räsonnement anstellen darf und soll, ist eine andere Sache; zunächst und zuvörderst galt es, das Dargestellte in seiner kontrastreichen Komplexität als sich selber genügendes Bild ins Bewußtsein zu bringen, das auf Allegorien nicht angewiesen ist.

Hierin, in der Betonung des Anschaulichen, das allem Überlegen über Sinn und Bedeutung vorangehen soll, treffen sich die beiden Aufsatzteile; hier treffen sich Wort- und Farbkunst, *pictura* und *poesis*.

#### Anmerkungen

- [1] Zu J. Lipsius u. G. Oestreich: Das politische Anliegen von Justus Lipsius „De Constantia“, in: Festschrift H. Heimpel, Bd.1 (Göttingen 1971) 618 ff.; G. Abel, Stoizismus und die frühe Neuzeit (1978), 67 ff.
- [2] In den „Oeuvres“ von De La Rochefoucauld (hrsg. von Gilbert-Gourdault, Paris 1883) findet sich ein „Album“ und hier eine Seneca-Büste, der ein Putto die Maske abnimmt. Auch Winkelman sprach vom „verlarveten“ Philosophen (Sämtl. Werke, ed. Eiselein, Bd. 6, 1825, 212).
- [3] Zuletzt von E. Köstermann: Cornelius Tacitus – Annalen (bes. Bd. 4, 1968) z. St.
- [4] Tacitus sagt (56.2), er habe „alles mögliche versucht, ihn umzubringen (*omnes artes*)“, offenbar auch Gift (60.2): er wußte zuviel. Der Text nach: Cornelius Tacitus I, 2: Annales X–XVI, ed. K. Wellesley, Teubner (Leipzig) 1986. Seine Rekonstruktion in 62.1 (S. 123, 28 f.) und 63.1 (S. 124, 2 f.) hat mich nicht überzeugt. In 62.1 verlangt der Sinn *«tam» bonarum artium famam quam const. am.* In 63.1 ist zu bedenken, daß Senecas inständige Bitte, den Schmerz zu mäßigen, eher ein Zeichen von Unbeugsamkeit als von momentanem Weichwerden ist, so daß *nec (neque) paululum adversus praesentem formidinem mollitus* möglich wäre (vgl. Cic. Caec. 31:

- in praesenti metu mortis; nec ... mollitus* mit *adversus* entspräche dem Gebrauch *firmus adversus* u. ä.).
- [5] Kontrast zu Senecas Frau oder zur Arria des Thræsea Paetus (16.34.2)?
  - [6] Das wird auch Clodius Thræsea Paetus tun: ann. 16.35.1 (zur Abwertung stummen Verschwindens ohne aufrechte Worte gegen die Tyrannei ann. 16.25.2 am Anf. und am Ende. Schweigen im Augenblick des Todes als Zeichen der überlegenen Verachtung lobt Tacitus dagegen öfter: 15.60.1 und 69.2).
  - [7] Kaum der „Hausarzt“: die Szenerie deutet auf einen mitgebrachten Adernschneider (Hinrichtungskommando wie 15.59.4; 16.9.2); s. auch A. 31.
  - [8] Die Steigerung der Gräßlichkeit ist deutlich: gräßlicher Stich statt Schnitt.
  - [9] Er sandte ein Verzeichnis aller Widerlichkeiten, deren er Zeuge gewesen, an Nero: ein „Fürstenspiegel“ besonderer Art.
  - [10] Dennoch bringt er ihn in 15.62.2 und 64.3 in die Nähe des Sokrates: philosophisches Gespräch bei Seneca und Thræsea (16.34.1). im Falle Senecas die sokratische Mahnung zur Nachfolge, dann das Opfer an die Heil-, bzw. Befreiergottheit, und der Schierling. Zutreffend K. Döring, *Exemplum Sokratis*: Hermes Einzelschr. 42, 1979, 39; vgl. Sherwin-White zu Plin. ep. 1, 10.2.
  - [11] Beiden wird die Wahl der Todesart freigestellt (*mortis arbitrium*: 16.33.1). Thræsea stirbt wie Vestinus (15.69.2) und Antistius (16.11.2): im *cubiculum* durch Venenschnitt, dann im *balneum*.
  - [12] Eine Steigerung im Kleinen stellte der Stich dar, der in A. 8 erwähnt ist.
  - [13] Eine Steigerung ist zudem in folgendem zu sehen: dem, der da bedauert, wie der Staat seiner Besten beraubt wird, muß der Verlust eines Seneca herb sein, der des Petron leicht, ganz schwer aber der von Männern wiegen, die seit langem in Wort und Tat altrömische, aufrechte Haltung bewahrten, die Haltung von Politikern, die sich um den Staat Sorge machten und diese furchtlos zur Schau trugen.
  - [14] Unbeantwortbar (nicht zuletzt wegen der Textverstümmelung) ist die Frage, ob nicht das Opfer an Juppiter Liberator im Seneca- wie im Thræsea-Kapitel um des deutlichen Bezugnehmens will fast identisch formuliert wurden. Zum Juppiter Liberator Köstermann 308 und Bömer, *Untersuchg. über die Religion der Sklaven I* (2. Aufl.), 217.
  - [15] R. Hürzel, *Der Selbstmord* (1908; Darmstadt 1967, 112, A. 3) empfand „eine Ironie“ in der „berechnenden Schauspielerei“ Senecas. – Seneca wird sehr deutlich, vielleicht überdeutlich zu einem, der seine eigene Lehre bewährt wie zuletzt Lucan, bis zuletzt Lehrender bleibt (G. Hess im *Jahrb. der dtsh. Schillerges.* 25, 1981, 196 ff. verstand auch Seneca bes. als Lehrenden). Allerdings „lehrt“ auch Thræsea, aber eben nur durch sein großgeartetes Tun, das seinem politischen, nicht einem Schriftstellerleben die Krone aufsetzt.
  - [16] Aus ann. 15.65 geht nur dies hervor, daß Seneca von Absichten einer Nebengruppe der Verschwörer nichts wußte: einige wollten *ignorante Seneca*, wenn Nero durch Piso gefallen, auch diesen umbringen und das Imperium dem Seneca antragen. Dies Unwissen bedeutet allerdings nicht, daß Seneca von Pisos Plänen nicht gewußt hätte.
  - [17] Ihr Sinn scheint im Kern klar: „Fällst Du, falle auch ich.“
  - [18] Man kann nicht sagen, daß derlei schmutzige Dinge Sache niedriger Chargen gewesen wären: 11.38.1; 15.60.1 und 67.4 töteten Tribunen eigenhändig (Octavia dagegen wird von Zenturionen umgebracht: 14.64.1).
  - [19] Cassius Dio 62.25.3 weiß von einem solchen zu berichten.
  - [20] Der Lohn für rasche Selbstentleibung war (unter Tiberius und Caligula: Diod. Sic. 19.11.6) das Bestehenbleiben des Testaments (Tac. ann. 6.29; Mommsen, *Strafrecht* 934; bes. Köstermann zu ann. 6.29.1), falls keine *damnatio* vorausgegangen war (ann. 4.22.3; 6.38.2) – eben dies konnte jedoch im Falle Senecas geschehen sein: ein Wort des Kaisers genügte (zur Zeit Neros überhaupt und im besonderen in dieser extremen Lage).

- [21] Man sollte die Abfolge des Verba im taciteischen Bericht genauer beachten: aktivisch: *poscit, testatur* 62.1; *revocat* 62.2; *complectitur, rogat* 63.1; *inquit, exsolvunt, abruptit, suadet, tradidit*, 63.2; *orat, haurit* 63.3; *introiit* § 4 – dann passivisch *inlatus, examinatus*. Dörings Satz: „Danach läßt er sich in ein Dampfbad tragen“ (S. 38) trifft also nicht zu, was die Initiative angeht.
- [22] Döring 39 weist überzeugend auf die Parallelität von philosophischem Gespräch, Mahnungen (die Philosophie zu beherzigen: Plat. Phdo. 117 c ff.), letzte Rede und Opfer an eine heilende, bzw. befreiende Gottheit.
- [23] So ist das *pridem* (Gerber-Greef im Tacituslexikon verweisen bez. des fehlenden *iam* u.a. auf ann. 6.2.2) zu verstehen, vgl. M. Griffin, Seneca (Oxford 1976) 369. Daß Tacitus das mot propre meidet, gehört zu seinem detechnisierten Stil (Norden, Ant. Kunstprosa 1.331; Syme, Tacitus 343 ff.; Morel, RE Sup. 5, 225.6). – Schierling mußte übrigens nicht frisch zerstoßen sein (Re Sup. 5, 225.30 ff.).
- [24] Vgl. Octavias Tod: 14.64.1 Ende: *omnes artus exsolvuntur*.
- [25] *Orat* – fast flehentliches Bitten des Gequälten.
- [26] Der Venenschnitt, richtig angesetzt, galt sonst als der rascheste Weg: Tac. ann. 16.17.5.
- [27] Morel, RE Sup. 5, 226.67 ff.; Döring 39, A. 81. – Der Schierlingstod galt als leicht: Gossen, RE Sup. 8, 707.27 ff. (aber Nicand. A1. 186 ff.; es handelt sich ja um ein Nervengift).
- [28] A. Ronconi RAC 6, 1966, 1258; I. Opelt in: Der Mensch in Grenzsituationen (Stuttgart 1984) 29 ff.; skeptischer (bez. des Schierlings allein) Döring 40. Der Schierlingstod war Seneca im Alter ein „Weg zur Unsterblichkeit“ (so *prov.* 3.12; so schon Furneaux). Zu Senecas Verhältnis zum Giftmord s. Döring 26 (bes. ep. 98.12).
- [29] Der Melderritt bzw. Paulinas Suizidversuch dauerte, wie oben gesagt, gewiß lange genug.
- [30] Tac. ann. 6.29.1 (s. Köstermann); 11.3 (dazu Hirzel 34); 16.33.1; Mommsen, Strafr. 934; Hirzel 107 ff.; vgl. Suet., Vita Luc. p. 51.20 Reiffers.: *mortis arbitrium liberum*.
- [31] Vgl. A. 7 und 26. – Es scheint, als habe der Überbringer solcher Todesbefehle nicht selten einen Aderschneider oder „Arzt“ (*percussor* oder *medicus*) mitgebracht: 11.37.3; 15.69.2 (*praesto medicus*). Paulina (15.63.1) wird ebenfalls den offiziellen *percussor* gemeint haben: daß Exponierte einen Spezialisten dafür stets im Hause gehabt hätten, ist kaum eine wahrscheinliche Annahme.
- [32] Als Seneca in das Warmwasserbecken steigt, opfert er *Juppiter Liberator*. Tacitus wählt diese Namensform (und nicht *Juppiter Liber*) – s.F. Bömer, oben A. 14 – vermutlich in der Absicht, seine eigene Auffassung hiervon zu verdeutlichen: gleich wird der Gepeinigte befreit sein. *Voce addita*: eine seltenste Verbindung, sie muß scharf erfaßt werden: nur noch zu einem kurzen Ausruf war er fähig.
- [33] Döring zitiert U. Knoche, Der Philosoph Seneca (1933) 25; Hi. Canik, Spudasm. 18, 1968, 110 ff. zu dem Gedanken, der letzte Tag entscheide über das Leben (so Sen. ep. 26.4). Interessant ist dabei, daß sein eigenes *exemplum*, das er vorstirbt (u.a. dem Thräsea, s. Döring 39, A. 88) ein geborgtes war, dessen Verbindlichkeit er so bewahrheitete.
- [34] Übrigens ist man, um die Sokratesnachfolge behaupten zu können, auf den Schierlingstod als sokratisches Sterben gar nicht notwendig angewiesen: die oben (mit Döring 39) aufgezählten Indizien (s. oben A. 22) genügen.
- [35] Tac. ann. 13.20; Fabia, Les sources de Tacite, 1893, 380 ff., s. Köstermann zu ann. 14.2.1; zuletzt C. Questa, Studi sulle
- [36] C. Suetonii Tranquilli ... quae supersunt, ed. A. Reifferscheid (1860) 95; Th. Mommsen, Ges. Schr. 7, 610 unt.
- [37] Sein De viris illustr. vor 111 veröffentlicht: Mommsen Ges. Schr. 4, 433; Funaioli RE 4 A, 598, 23.
- [38] RE 3, 1717, 50
- [39] Daß Seneca selber die Adern aufgeschnitten hat (so Tacitus und Cassius Dio 62.25.2), ist unwahrscheinlich – sonst tun das *percussores* und *medici* – stellt ihn aber in Catos Nähe. *Uno ictu* malt die Bewegung, ist eindrucksvoller als ein realistisches Detail.

- [40] Wenn Cassius Dio 62.25.1 davon spricht, daß der Freitod der Paulina Senecas Wunsch war, habe er sie doch die Todesverachtung gelehrt und den Adel gemeinsamen Todes (Hirzel 115), dann ist wenigstens soviel an Übereinstimmung mit Tacitus abzuleiten, daß Seneca vor dem gleichzeitigen Aderöffnen ihr wirklich eine kurze Ansprache gehalten haben könnte. – Die oben (vgl. A. 21) beobachtete Abfolge zunächst aktiver, zuletzt passivischer Verba darf man wohl mit Dios Notitz zusammenstellen, am Ende hätten die Soldaten nachgeholfen, (§ 2). – Daß Seneca noch ein ganzes „Biblion“ habe durchkorrigieren wollen (§ 2), erstaunt dann aber – Verwechslung mit Lucan (Suet. Vita Luc. p. 51.20 Reiff.)? Oder Verkürzung aus „Er gab einem *Freunde* einen letzten *libellus* zur Korrektur“? – Über das Testament hat Dios Quelle immerhin genaue Kenntnis (§ 3); s. A. 56.
- [41] Über die politisch erwartbare Lage und die lebenslange Vorbereitung auf den Tod – eine urstoische und Senecas Episteln kennzeichnende Auffassung von Philosophie – s. Griffins [A. 23] Kapitel „*Mors diu meditata*“.
- [42] Die Lehre dieser Schrift ist, auf den Affekt gesehen, die, daß der Trauernde auch bei herbstem Verlust darauf zu achten habe, daß die Trauer sich nicht zu tief einfrißt, da sonst eine lähmende Depression eintritt; darauf zielt 62.1 *temperaret dolori, ne aeternum susciperet* („auf daß sie keinen dauernden Schmerz erlitte“).
- [43] Wer dererlei hineinliest, muß solches dann auch dem doch bewußt sehr ähnlich abgefaßten Bericht (vgl. A. 6) über das Ende Thrases aufbürden, das aber empfiehlt sich keineswegs.
- [44] Zu dieser vgl. *Prov.* 3.12 ff.; ep. 66 (die Todesbegeisterung, die hier spürbar wird, spricht sich ja auch beim Thrases-Tod aus: *specta, iuvenis!* in 16.35.1), vor allem: daß der Tod über die Qualität des Lebens entscheidet: ep. 26.4; Verf., Geschichte der röm. Philosophie (Darmstadt 1989) § 155. – Wie gut Tacitus Senecas Werk kannte, zeigt M. Zimmermann. *De Tacito Senecae philosophi imitatore*, Diss. Breslau 1889.
- [45] Vgl. P. P. Rubens, Katal. der Kölner Ausstellung 1977, Bd. 1, 17 (mit Nachweisen).
- [46] Vgl. M. Jaffé, *Rubens and Italy*, Oxford 1977, 4 ff.; H. Müller Hofstede im Katalog Bd. 1 (s. A. 1) 246 zur Datierung.
- [47] Erste Nachricht bei Flaminio Vacca 1594, s. H. P. Laubscher, *Fischer und Landleute: Studien zur hellenistischen Genreplastik*, Mainz 1982, 99.
- [48] *Imagines et Elogia Illustrium*, nach Fulvio Orsini, bearb. von Th. Galle 1598, Nr. 131. Zu dieser Büste W. Prinz, *Art Bullet.* 55, 1973, 410 ff. (ein Hesiod).
- [49] Heute im Louvre (MA 1354). Die Parallele aus dem Vatikan Gall. (and. IV 38) macht deutlich, daß es sich um einen Angler handelt (s. Laubscher (A.3) 100).
- [50] Nachweise im Kölner Katalog (s. A. 1) 1, 246; J. Müller Hofstede, *Wallraf Richartz – Jb.* 30, 1968, 223; Ch. White, *Peter Paul Rubens*, (1987) dtsh. Ausg. (Belzer-Ver. 1988) 13 mit Abb. 21, auf S. 78 behauptet er, Rubens habe „für den Kopf ... die Büste aus seiner eigenen Sammlung“ (vgl. G. Richter, *The Portraits of the Greeks* 1, 1965, Fig. 146; Abb. 88 bei White) verwendet, was ganz abwegig ist (die Büste hält, um nur das Auffälligste zu nennen, den Kopf im Unterschied zum borghesischen Angler gesenkt): der Kopf ist aus dem des Anglers durch Veredelung entwickelt. Das dümmliche Aussehen des Anglers, der aber doch Seneca sein sollte, erklärte man um 1600 mit Senecas nicht-römischer, spanischer Herkunft (H. G. Evers, *Peter Paul Rubens*, 1942 92; Jaffé 309).
- [51] E. Hubala, *Rubens*, in: *Kunstgeschichtl. Beiträge* 1979, 146. Übrigens hatte Winckelmann (Sämtl. Werke, hrsg. von Eiselein, Bd. 6, 1825, 212 f.) die Identifikation mit Seneca abgelehnt, und sein Kommentator H. Meyer hatte eher an einen Fischer aus einer Komödie gedacht (schon in der Ausg. 1767, vgl. Bd. 1, CLXXV; in der Ausg. 1825, 214, A. 1).
- [52] M. Warnkes Datierung „um 1611“ (in P. P. Rubens, *Leben und Werk*, 1977, 47) rechnet noch mit einem relativ späten Maldatum.
- [53] Dessen gedanklicher Grundbau (Martyrium vor der Kaiserbüste) ist von Tizians Dornenkrönung (Leiden Christi unter der Tiberiusbüste) hergeleitet.
- [54] Warnke, *Kommentare zu Rubens* (Berlin 1965) 26.

- [55] Gewiß könnte man angesichts der Gutartigkeit der rubensschen Militärs, an die ebenfalls gutartigen, ja bewundernden Gefängniswärter, bzw. Schergen bei Sokrates', bzw. bei Christi Tode (Plat. Phdo. 116 b; Mt. 27.54) denken (Ph. Fehl stimmte gesprächsweise sofort zu), doch bliebe das im Unbeweisbaren: Rubens hat diese Gestalten nicht identifiziert, also sollen wir es auch nicht tun.
- [56] R. Liess und Ph. Fehl stimmten dem Ausdruck gesprächsweise zu; man mag auf die „Schule von Athen“ verweisen und das auf den Aufblickenden der Geometer-Gruppe rechts vorn (z.B. bei P. L. De Vecchi, Raffael, Atlantis-Verlag 1983, S. 164 oder bei Prisco und De Vecchi, Rizzoli 1966, Tav. XXIII). – Eine Detailaufnahme des Gesichtes bei White S. 81.
- [57] In A. 13 wurde die (eher philologische) Vermutung geäußert, Rubens habe möglicherweise mit den am Boden liegenden Büchern auf die Notiz des Cassius hinweisen wollen; zunächst aber (mehr dazu in III) scheint es, als fänden sie ihre (künstlerische) Erklärung in der Absicht des Malers, diese linke Seite von einem Bande aus Helligkeitskontrasten mit Zwischenwerten gesäumt sein zu lassen.
- [58] Daß der Arzt oder Aderschneider keine Erregung zeigt, gehört zur Kontrastierung: aber Anteilnahme zeigt er sehr wohl, indem er das Sterben bewirkt mit einem Gesichtsausdruck voller Konzentration auf das Medizinische: hier das Passende sicher zu bewerkstelligen, war der letzte Dienst des erfahrenen Arzt-Freundes.
- [59] Man vergleiche, was K. Badt, Kunsttheor. Versuche, Dumont-Verlag 1968, 23 ff. zum Martyrium des Hl. Livinius zu solchen Kreisen beobachtet hat und wird es im „Seneca“ vorangekündigt finden. – Man kann daran denken, daß dem Maler daran lag, seinen Seneca aufrecht sterben zu lassen (s. H. J. Schings, Die patristische und stoische Tradition bei A. Gryphius, 1966, 246 f.), darf aber nicht vergessen, daß ihm das Stehen durch die (Fischer-)Statue vorgegeben war.
- [60] Müller Hofstede (s. A. 7) 336; was damit gemeint ist, kann aus G. Busch, *Fortunae Resistere* in der Moral des Philosophen Seneca (Wege der Forschg. 414, 2. Aufl. 1987, 53 ff.) ersehen werden. Von einer „Tugend der Anklage und des Widerstandes“ (ausgerechnet Widerstandes) ist geredet worden (H. J. Schings, in: *Historizität in der Sprach- und Literaturwissenschaft*, 1974, 536).
- [61] Ep. 26.4. Es war auch nicht gut, daß man Moretus (Senecae ... Opera 1632, Lectori) folgte, der das Bild in einem zu engen Satz beschrieb „sapientiae et constantiae praecepta dictantem“, wie G. Hess es tat (bes. 213), auch wenn das im „Verzeichnis der Gemälde“ in der königl. Pinakothek in München (1838), 262 bereits geschrieben steht.
- [62] Vgl. hierzu Verf. *Gesch. d. röm. Philos.* (s. A. 44) S. 109, 117–119 mit. Anm. 170. Das Ende der Ep. 79, § 12 zeigt besonders deutlich, daß Seneca so dachte, so hoffte.
- [63] Schon Boccaccio verglich Senecas Sterben mit einer Taufe (Die Mag.-Arbeit von P. Eberlein ist bei Hess 223 zitiert, man läse sie gern), man hätte diesem Hinausschreiten übers Gemalte nicht nachgeben sollen; Hess 224 ff. vergleicht den Gestus von Rubens' Seneca mit Mantegnas „Cristo in Pietà“, der die Nagelwunden zeigt (z.B. Rizzoli Tav. LIV), dazu auch noch mit Davids „Marat Assassiné“ (A. Schnapper, J.-L. David, Ed. Popp 1981, 161): Willkür einer „Rezeptions“-Kollage.
- [64] Vgl. Al. Hugenschmidt, *Magnae Mortes*, Diss. Freiburg/Brsg. 1960. Er möchte (davon ausgehend, daß die vielen Übereinstimmungen unter den Berichten von *magnae mortes* auf eine literarische Typik führen) im taciteischen Bereich das Typische (Zuspruch, Aufrechtbleiben, letzte Worte, usw.) vom Individuellen sondern. Individuelles erkennt er in verborgenen Hinweisen auf Lebensgewohnheiten Senecas (Großzügigkeit: Juv. 5, 108 f. und hier Testamentsänderung; findet kein Ende beim Schreiben und Reden: ben. 5, 1, 1 und hier 63.3 Ende *pleraque; imago*: eine gewisse Selbstgefälligkeit). Dadurch erhält der Bericht etwas „Schillerndes“, als wäre Tacitus „mit sich uneins im Urteil über Seneca“ (S. 66). Man wird sich dieser Ansicht nicht ganz verschließen, sucht aber doch nach kräftigeren Hinweisen; so ist die

Auffassung, das letzte Wort („*Jovi Liberatori*“) sei ein „Scherz“ (73), ungeschützt geblieben; nicht uninteressant ist auch die Ansicht von der Umschreibung des Schierlings 64.3: sie sei doch wohl eine „vernehmliche Selbsteinschätzung“, die Tacitus ihm „in den Mund legen wollte“ (74 nach ep. 13.14: *cicuta magnum Socratem fecit*) – so als lasse Tacitus seinen Seneca diese Worte sprechen, auf daß jeder wisse, er sei wie Sokrates. Soll der Sterbende aber in gedrechselten Zirkumskriptionen gesprochen haben? Soll man auch übersehen, daß Tacitus mit *damnati publico indicio* anklingen läßt, daß Seneca gerade **nicht** in einem ordentlichen Prozeß verurteilt worden war? Man könnte immerhin vermuten, daß vieles in Tacitus' Worten schärfer bestimmbar wäre, hätte man noch Senecas Sterberede (63.3 *in vulgus edita*) in Händen. So aber kann man Hugenschmidt nur so viel zugestehen, daß Lebeseneigenheiten Senecas angedeutet sind (Sokrates-Vergleich, Freundlichkeit, Zuwendung zu Sklaven (ep. 47!), usw) – wenn nur der Text in 63.1 sichtbar wäre.



## Systeme romanischer Wölbungen im 11. und 12. Jahrhundert

Von **Harmen Thies**

### Zusammenfassung

Die Beschäftigung mit den sächsischen Hochschiffswölbungen des 12. Jahrhunderts (**Braunschweiger Dom** ab 1173) fordert zu Systemvergleichen und der Suche nach Vorbildern nicht nur in Sachsen heraus. Zunächst ist **Königslutter** (ab 1135) mit seinem herausragenden Ostbau zu nennen und die Sonderstellung dieser ersten hoch und weit gespannten sächsischen Gewölbearchitektur gegenüber dem Wölbsystem des Domes in **Speyer** (Bau I und II) zu präzisieren. Während hier die Kreuzgratgewölbe (mit Schild- und Stirnbogen; Schlußsteinen!) ihre Last auf eigens angeordnete, das Gewölbe direkt vorbereitende Winkelstützen oder „Dienste“ absetzen, wird in Speyer ein Gurt- und Schildbogensystem auf Halbsäulen errichtet (schon in der Krypta und den Seitenschiffen von Bau I), das zunächst distinkte, annähernd quadratische Joche bildet und dann erst die einzelnen Kreuzgratgewölbe zwischen und auf sich nimmt.

Charakteristisch für Königslutter – dann auch Braunschweig und eine größere Zahl weiterer Beispiele – ist das Ausbilden von Gewölbefüßen, denen pro Joch vier Winkelstützen als „Gestell“ zugeordnet sind. Stützen und Wölbkörper gehören zusammen und folgen einem Anlagetypus, der als „Baldachin“ geläufig ist. Er wird hier als „Wölbgestell“ beschrieben, um einerseits die Typologie dieser Gebilde von der römischen Antike bis zum Klassizismus in abstracto verfolgen und andererseits die tendenzielle Verengung des Begriffs „Baldachin“ auf gotische Strukturen (Sedlmayr) vermeiden zu können. Antike (Rom, Caracalla-Thermen, Maxentiusbasilika) und nachantike Beispiele (**Spoleto**, S. Salvatore; **Mailand**, Nebenkapellen von S. Lorenzo) Italiens scheinen das frühe Aufgreifen und Umbilden dieser Typologie zu einem spezifisch romanischen Wölbsystem in der Lombardei zu erklären (**Como**, S. Abbondio, 1095). Daneben ist ein eigener, ebenfalls von Rom ausgehender byzantinischer Entwicklungsgang näher zu verfolgen (**Istanbul**, Hagia Sophia; **Canosa** in Apulien, Dom S. Sabino).

Frankreichs frühe Wölbungen (**Tournus**, Vorkirche von St-Philibert; Rekonstruktion von **Cluny II**) sind Tonnensysteme mit jochbildenden Gurtungen. Nur die Kuppelbauten des Südwestens stellen eine Sondergruppe dar. Kennzeichnend ist der „eingestellte“ Stütz-Bogen-Rahmen (**Nevers**, St-Etienne). Überkreuz angeordnete Stütz-Bogen-Rahmen der bekannten Grundform konstituieren dann früheste Kreuzrippengewölbe. Sie können dem orthogonalen Achssystem sowohl gleichgerichtet eingefügt sein (Rekonstruktion der Turmhallen des Querhauses von St-Martin in **Tours**) wie auch diagonal „verdreht“ (**Moissac**, Turmhallen; **Beauvais**, St-Etienne).

Der lange „Widerstand“ Sachsens und Westfalens gegenüber der Rippenwölbung (**Magdeburg**, Dom, unterer Chorumgang; **Paderborn**, Dom) mag als ein weiteres Indiz



für die regionale Bedeutung romanischer Wölbgestell-Systeme gerade in diesen Gegenden gelten.

## **Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte**

1. Der Bericht über das wissenschaftliche Symposium „Der Magdeburger Dom – ottonische Gründung und staufischer Neubau“, das Ernst Ullmann, Leipzig, vom 7. bis 11.10.1986 in Magdeburg unter Mitwirkung der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte veranstaltet hatte, erschien paralell zum Buch des Leipziger Seemann-Verlages, Leipzig 1989, als Band 5 in der Veröffentlichungsreihe der Kommission, Göttingen 1989. Die Mittel für den Druck dieses deutsch-deutschen Buches hatte das Bundesministerium für Innerdeutsche Beziehungen zur Verfügung gestellt, während der GOLTZE-Verlag den Einband-Deckel der westdeutschen Ausgabe ohne Berechnung geliefert hat, wofür seinem großzügigen Leiter Rolf Engelhardt ausdrücklich gedankt sei.
  
2. Die Kommission gründete den Arbeitskreis „Herrscherorte – Herrscherkunst“, um mit dem Göttinger Max-Planck-Institut für Geschichte unter Otto Gerhard Oexle enger verbunden wirken zu können.  
 Das wissenschaftliche Symposion „Goslar – Bergstadt-Kaiserstadt in Geschichte und Kunst“ vom 5. bis 8. Oktober 1989 in der Goslarer Kaiserworth war die erste Veranstaltung dieses Kunsthistoriker- und Historiker- vereinenden Arbeitskreises der Kommission. Während des Symposions ergab die Diskussion, daß die Bischofsstadt Halberstadt als nächster Ort zu behandeln wäre, und Ernst Ullmann, Leipzig, diese Tagung vorbereiten wolle. Inzwischen hatte die Stiftung Volkswagenwerk ihr neues Programm deutsch-deutscher Wissenschaftsveranstaltungen beschlossen, so daß die schon so gut bewährte Zusammenarbeit Leipzig-Braunschweig innerhalb dieses Rahmens erneuert werden kann.  
 Unter dem Titel „Königtum und Kirche als Kulturträger im östlichen Harzvorland“ ist die Tagung in Halberstadt für die Zeit vom 30. 09. bis 05. 10. 1991 vorgesehen.
  
3. Inzwischen wird der Druck des Goslarer Berichtsbandes vorbereitet.

## Kommission für Technik und Umwelt

Die Verminderung von Schadstoffen aus Verbrennungsprozessen ist derzeit das vorrangigste Ziel der Kommission für „Technik und Umwelt“. Als zu beseitigende Schadstoffe gelten vor allem Kohlenwasserstoffe,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , Cl, Dioxine und Furane sowie Schwermetalle. Als Ergebnis einer weltweiten Forschung zum sogenannten Treibhauseffekt wird aber immer deutlicher, daß auch der Ausstoß des an sich harmlosen Verbrennungsproduktes  $\text{CO}_2$  so weit wie möglich eingeschränkt werden muß. Eine Verminderung dieser Emission ist aber nur durch eine Reduzierung des Verbrauches an fossilen Brennstoffen selbst zu erreichen. Den Methoden zur Einsparung von Energie kommt somit in der Zukunft eine zentrale Bedeutung zu.

Man kann davon ausgehen, daß das Energieeinsparpotential allein der Industrie in der Größenordnung von 25% liegt. Bezogen auf den Gesamtprimärenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland entspricht das etwa einem Anteil von 10% bis 15%. Davon sind ungefähr  $\frac{2}{3}$  im Bereich der Hochtemperaturtechnik, also in Industrieöfen, einzusparen.

Als Beitrag zu dieser Problematik wurde auf der Sitzung der Klasse für Ingenieurwissenschaften vom 10. 2. 89 der Beitrag von R. Jeschar

„Optimierung von Ofenanlagen mit Wärmerückgewinnung aus dem Brenngut“

vorgetragen und diskutiert. Diese Diskussionsveranstaltung wird wegen der Umweltproblematik gleichzeitig als Beitrag der Kommission für „Technik und Umwelt“ verstanden. In Vorbereitung befindet sich eine größere öffentliche Veranstaltung, auf der Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs in den verschiedenen Bereichen der Technik diskutiert werden sollen.

## **Kommission „Technik und Recht“**

Von **Werner Thieme**

Wissenschaftliche Akademien und wissenschaftliche Gesellschaften bieten die Chance gemeinsamer wissenschaftlicher Arbeit. Die Einsetzung von Kommissionen ist daher das geeignete Mittel zur Beförderung überfachlicher Forschung. Auch die BWG hat zwei Kommissionen eingesetzt: „Technik und Kunstgeschichte“ sowie „Technik und Umweltschutz“. In einer Sitzung vom 8. 12. 1989 hat das Plenum der BWG beschlossen, eine dritte Kommission einzusetzen für den Themenbereich „Technik und Recht“. In der Einsetzung dieser Kommission kommt die in der BWG in Deutschland wohl einmalige Chance für alle wissenschaftlichen Gesellschaften und Akademien zum Ausdruck, eine große Zahl von Ingenieurwissenschaftlern mit Gelehrten anderer Fächer zu vereinigen, die die Verbindung zwischen der Technik als einem Wissenschaftsbereich und anderen Fächern herstellt.

Die Kommission befindet sich noch im Stadium der Gründung. Beschlossen ist zunächst eine Vorkommission, die aus drei Ingenieurwissenschaftlern und drei Juristen bestehen soll. Diese Vorkommission wird dem Plenum der BWG – so steht zu hoffen – noch im Jahr 1990 konkrete Vorschläge für ein Arbeitsprogramm machen können. Zur Mitarbeit sind alle interessierten Mitglieder der BWG eingeladen. Es wird allerdings notwendig sein, gerade aus dem juristischen Bereich auch Wissenschaftler, die bisher der BWG noch nicht verbunden sind, heranzuziehen.

Die Federführung in der Vorkommission hat der Unterzeichnete übernommen (Anschrift: Berggartenstraße 14, 3100 Celle).

Prof. Dr. jur. Werner Thieme



## Gravitationswellen

Von Gerd Leuchs

Sektion Physik der Universität München und Max Planck Institut für Quantenoptik,  
D-8046 Garching

Von den vier in der Physik bekannten Kräften ist im Bereich der Elementarteilchen die Gravitation die schwächste. In unserem Alltag dagegen spielt die Schwerkraft eine beherrschende Rolle. Dennoch ist die Gravitation dem Experiment in macher Hinsicht viel schwerer zugänglich als der Elektromagnetismus. Dort wurde schon früh vermutet, daß sich Licht, von dem wir heute wissen, daß es eine elektromagnetische Welle ist, nur mit einer endlichen Geschwindigkeit ausbreitet. Die ersten zunächst allerdings noch vergeblichen Versuche zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit gab es zur Zeit der Renaissance. Aber auch über die Schnelligkeit, mit der sich Änderungen des Schwerefeldes über große Entfernungen ausbreiten, wurde schon spekuliert, lange bevor Einstein unser heutiges Verständnis der Gravitation begründete. So kommt Gruithuisen im Jahr 1838 zu dem Schluß: „Die Anregung der Fernwirkung der Schwerkraft kann daher nicht in endlicher Zeit mit unendlicher Geschwindigkeit geschehen“ (1). Aber erst Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie machte konkrete Vorhersagen über die Geschwindigkeit und Natur der Gravitationswellen (2).

Das besondere an der Schwerkraft ist, daß sie alle Körper gleich stark beschleunigt. Diese Proportionalität zwischen der Trägheit eines Körpers und der auf ihn wirkenden Schwerkraft unterscheidet die Gravitation von allen anderen Wechselwirkungen. Sie ist der Grund dafür, daß Einstein die Gravitation als eine Veränderung der Geometrie des Raums beschreiben konnte. Da die Gravitations-Wechselwirkung die Geometrie der zugrundeliegenden Raum-Zeit, in der sie beschrieben wird, ändert, sind die von Einstein zu ihrer Beschreibung aufgestellten Gleichungen nicht linear. Im Bereich starker Gravitationsfelder, wie sie bei Neutronensternen oder schwarzen Löchern auftreten, sind die Lösungen der Einsteinschen Gleichungen entsprechenden komplex und schwierig. Im Bereich schwacher Gravitation, wie sie in unserem Sonnensystem allemal vorherrscht, kann die lineare Näherung der Einsteinschen Gleichungen herangezogen werden. Wenn diese lineare Näherung gilt, dann kommt man mit der Analogie zum Elektromagnetismus zumindest qualitativ recht weit. Das normale statische Gravitationsfeld entspricht dabei dem elektrischen Feld und bewegte Massen führen zu einem „gravitomagnetischen“ Feld. Die Wirkung solcher Massenbewegungen pflanzt sich im Raum in Form von Wellen als periodische Verzerrungen des Raums fort. Da es nur eine Sorte von Massen gibt, kann es zu keiner Dipolstrahlung kommen, und die von einer Gravitationswellen verursachten Dehnungen und Stauchungen des Raums haben quadrupolförmigen Charakter.

Wenn wir versuchen, auf der Erde ein Gerät zum Nachweis von Gravitationswellen zu bauen, dann glauben wir, daß wir die Wirkung der Gravitationswelle auf die Nachweisapparatur verstehen, denn der Nachweis findet im Bereich schwacher Gravitation statt. Das eigentliche Interesse am Nachweis von Gravitationswellen kommt daher, daß wir hoffen, etwas über die Quellen dieser Strahlung zu erfahren. Bislang ist der direkte Nachweis noch nicht gelungen, es gibt lediglich einen indirekten Hinweis durch die Beobachtung der Verlangsamung der Umlaufsperiode eines Pulsars in einem kompakten Doppelsternsystem (3). Gravitationswellen, die stark genug sind, daß man sie auf der Erde direkt nachweisen kann, werden von kosmischen Katastrophen wie Supernova oder kollabierenden Doppelsternsystemen dann erwartet, wenn Neutronensterne oder schwarze Löcher beteiligt sind oder entstehen. Im Bereich dieser enorm hohen Massenkonzentrationen ist die Gravitation die alles beherrschende Kraft, zu deren Beschreibung man die vollen Einsteinschen Gleichungen verwenden muß. Sollte es also gelingen, Gravitationswellen von solchen Quellen zu beobachten, dann ergäbe sich die Möglichkeit, die Theorie der Gravitation im Bereich extrem hoher Felder zu überprüfen. Vielleicht läßt sich dadurch auch unser Verständnis von den Anfängen des Urknalls weiter verbessern.

Über vierzig Jahre dauerte es nach der Vorhersage der Existenz von Gravitationswellen durch Einstein, bis sich gegen Ende der Fünfziger Jahre der wagemutige Physiker Joseph Weber an den Versuch machte, einen Detektor für Gravitationswellen zu bauen. Für diese lange Zeitspanne gab es einen Grund, denn erste theoretische Abschätzungen hatten ergeben, daß die von der stärksten zu erwartenden Gravitationswelle verursachte Raumdehnung immer noch extrem klein ist. Durch die Entwicklung der Hochleistungs-Computer wird es mittlerweile möglich, immer komplexere numerische Rechnungen durchzuführen. Dadurch und durch die Entwicklung neuer Rechenmethoden lassen sich heute zuverlässigere Vorhersagen über die zu erwartenden Raumdehnungen machen. Eine Supernova im Zentrum unserer Milchstraße sollte ein wenige Millisekunden andauerndes Signal mit ein paar Oszillationen verursachen, wobei Raumdehnungen von  $10^{-19}$  bis  $10^{-18}$  erwartet werden. Solch winzige Raumdehnungen kann man sich kaum noch vorstellen. Bezogen auf die Entfernungen zwischen Erde und Mond bedeutet das eine Abstandsänderung von nur einem Moleküldurchmesser! Man nimmt an, daß Supernova in unserer Milchstraße etwa ein bis zehnmal pro Jahrhundert auftreten. In den letzten tausend Jahren berichteten die Astronomen zwar nur von vier Ereignissen, aber einige von ihnen werden durch andere Sternmaterie verdeckt. Der Nachteil der Gravitationswellen, daß sie in den Detektoren auf der Erde so geringe Spuren hinterlassen wird hier zum Vorteil: Sie dringen nahezu ungehindert auch durch die unsere Sicht versperrenden Sternmassen hindurch. Höhere Signalaraten wären mit noch empfindlicheren Detektoren zu erwarten, da dann auch die „Raumdehnungswellen“ von ähnlichen Ereignissen in anderen Galaxien beobachtet werden könnten. Hierbei hilft, daß die Raumdehnung, die gemessen werden muß, proportional zur Amplitude der Gravitationswelle und nicht zu der von ihr transportierten Energie ist. Daher kann man mit einem tausendmal empfindlicheren Detektor auch tausendmal weiter in den Raum schauen.

Wie sehen nun die Detektoren für Gravitationswellen aus, an denen zur Zeit an vielen Stellen gearbeitet wird? Es gibt zwei unterschiedliche Messmethoden, die experimentell verfolgt werden. Die erste seit Ende der Fünfziger Jahre zunächst von Joseph Weber entwickelte Methode arbeitet nach dem Stimmgabelprinzip. Es handelt sich um tonnenschwere in einem Vakuumtank aufgehängte Metallzylinder, die in der heute üblichen Version auf die Temperatur des flüssigen Heliums abgekühlt werden. Ein kurzer Gravitationswellenpuls regt den Zylinder zu Schwingungen bei seiner Resonanzfrequenz an. Diese Auslenkungen werden meist durch kapazitive Ankopplung an eine Stirnfläche ausgelesen. Die Empfindlichkeit der von dieser Art existierenden Detektoren liegt gerade bei  $10^{-18}$ . Die Nachteile dieser Detektoren sind zum einen, daß sie von ihrer Natur her Resonanzantennen sind, sie sich also nicht gut zur Bestimmung der Signalform eignen und zum anderen, daß sie auch bei weiterer Abkühlung zwischen  $10^{-20}$  und  $10^{-21}$  an eine fundamentale quantenmechanische Grenze stoßen.

Auf lange Sicht vielversprechender sind große Michelson-Interferometer, bei denen die Dehnung des Raums mit Laserlicht vermessen wird. Ähnlich wie bei Dipolantennen für elektromagnetische Strahlung gibt es auch für die Länge der Interferometerarme einen optimalen, an die Frequenz der Gravitationswelle angepaßten Wert, der erreicht wird, wenn die Laufzeit des Lichts in jedem Interferometerarm gleich der halben Periode der Gravitationswelle ist. Bei einer Frequenz von einem Kilohertz entspricht das einer Lichtlaufstrecke von 150 Kilometern. Solch lange Laufstrecken können in der Praxis durch eine Faltung des Strahlengangs in jedem Interferometerarm erreicht werden. Der mit einem Interferometer leicht zu beobachtende Effekt ist der Übergang von konstruktiver zu destruktiver Interferenz, von Helligkeit zu Dunkelheit, der auftritt, wenn sich die Differenz der Lichtwege in den beiden Interferometerarmen um eine halbe Laserwellenlänge ändert. Damit läßt sich aber selbst bei den hier diskutierten großen Armlängen „nur“ eine Raumdehnung von  $3 \text{ mal } 10^{-12}$  messen. Um aber in den Bereich unter  $10^{-21}$  vorzustoßen, muß die Lage des Interferenzsignals auf den  $10^{-10}$ -ten Teil des Abstands zwischen hellen und dunklen Streifen ausgewertet werden können (4). Das macht es erforderlich, alle Störungen wie seismisches Wackeln und thermische Schwingungen der Spiegel, Streulicht und Schwankungen der Laserfrequenz zu unterdrücken bzw. zu kontrollieren. Schließlich bleibt die „Körnigkeit“ des Lichts, das Photonenrauschen, das durch Erhöhung der Laserleistung im Interferometer verringert werden kann. Ein effizienter Weg, die Laserleistung zu erhöhen, besteht in der Rückkopplung des aus dem Interferometer austretenden Lichts, so daß sich die Lichtleistung im Interferometer wie in einem optischen Resonator aufschaukelt. Eine weitere Empfindlichkeitssteigerung läßt sich dadurch erreichen, daß zusätzlich zu dem Hauptlaser auch noch nichtklassisches Licht verwendet wird (5). Es handelt sich dabei um eine neue Messtechnik der Quantenoptik, die vor kurzem experimentell demonstriert wurde.

Die empfindlichsten Prototyp-Detektoren, die nach dem Laserinterferometrischen Prinzip arbeiten, stehen am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching, an der Universität Glasgow und am California Institute of Technology. Das Interferometer in Garching hat 30 Meter lange Arme und der Lichtstrahl läuft bis zu fünfzigmal hin und



her. Mit diesem Prototyp wurde eine Dehnungsempfindlichkeit demonstriert, die bei breitbandigem Nachweis im Kilohertzbereich bei  $10^{-18}$  liegt. Durch die Potenz-Schreibweise übersieht man leicht, was die Zahl tatsächlich bedeutet. Sie ist so winzig, daß die Messapparatur schon anspricht, wenn einer der Spiegel des Interferometers innerhalb einer Millisekunde nur um 3% des Durchmessers eines Protons ausgelenkt wird! Dabei ist dieser Kernbaustein selber schon sehr klein. Die Laserinterferometer haben damit die Zylinderantennen praktisch eingeholt, aber die Grenze der Dehnungsempfindlichkeit, an die die Zylinderantennen bei  $10^{-20}$  bis  $10^{-21}$  stoßen, erreichen die Laserinterferometer erst bei etwa  $10^{-24}$ . Dieser Vorteil ergibt sich hauptsächlich daraus, daß die Raumdehnung mit Lichtgeschwindigkeit statt mit Schallgeschwindigkeit ausgelesen wird.

Nun sollen mehrere Kilometer große Laserinterferometer gebaut werden, die in den Empfindlichkeitsbereich unterhalb von  $10^{-21}$  vorstoßen. Dabei kommt man in verschiedenen Bereichen an die Grenze des heute technologisch machbaren. Um die anfallenden Probleme besser lösen zu können, haben sich in letzter Zeit verschiedene Forscherteams auf internationaler Ebene zusammengeschlossen. So gibt es seit 1989 eine enge Zusammenarbeit zwischen der Universität Glasgow und der Max-Planck-Gesellschaft (6). Beide Länder wollen gemeinsam einen Detektor bauen. Eine ähnliche Antenne wird von den französischen und italienischen Teams in Orsay und Pisa geplant. In den USA haben sich Caltech und MIT zusammengetan. Auch in den Ländern Japan und Australien ist das Interesse an dem Bau von Gravitationswellendetektoren groß. Es ist wichtig, daß weitere Detektoren dieser Art gebaut werden, denn nur über Koinzidenzmessungen werden sich Gravitationswellensignale zuverlässig identifizieren lassen. Auch die Position der Quelle am Himmel kann dann durch Zusammenschalten verschiedener Gravitationswellenantennen bestimmt werden. Die Daten werden dann ganz ähnlich wie bei der Radiowelleninterferometrie mit großen Basislängen ausgewertet.

### Literatur

- [1] Fr.v.P. Gruithuisen, „Was ist geschwinder als Licht?“, in Astronomisches Jahrbuch für physikalische und naturhistorische Himmelsforscher, Hrsg. Fr.v.P. Gruithuisen, München 1838.
- [2] A. Einstein, Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. 154 (1918).
- [3] J.H. Taylor, J.M. Weisberg, Astrophys.J. **253**, 908 (1982).
- [4] K. Maischberger, A. Rüdiger, R. Schilling, L. Schnupp, D. Shoemaker, W. Winkler, „Vorschlag zum Bau eines großen Laser-Interferometers zur Messung von Gravitationswellen“, MPQ Report **96** (1985), s.a. „Erweiterte Fassung“, MPQ Report **129** (1987).
- [5] G. Leuchs, Contemp. Phys. **29**, 299 (1988).
- [6] E. Dreisigacker, Phys. Bl. **46**, 64 (1990).

# **Mechanische Lichteefekte an freien Atomen**

Von **Prof. Dr. J. Mlynek\***

Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich,  
Institut für Quantenelektronik  
CH-8093 Zürich

## **Abstract**

Seit einigen Jahren gehört der Strahlungsdruck von Lasern zu den aktuellen Forschungsgebieten der Quantenoptik [1, 2]. Bei Resonanzanregung freier Atome können dabei durch die intensive, abstimmbare und gerichtete Strahlung des Lasers ausgeprägte mechanische Lichteefekte auftreten. Als Folge des resonanten Lichtdrucks der Laserstrahlung können Atome auf extrem niedrige Translationstemperaturen gekühlt und optisch auf kleinstem Raum eingefangen werden.

Im Rahmen dieses Beitrags sollen aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der resonanten Lichtkräfte an Atomen vorgestellt werden. Hierbei stehen folgende Themenkreise im Vordergrund:

## **1. Lichtkräfte in Gasen**

Die durch Lichtkräfte wie z.B. die spontane Streukraft hervorgerufene Modifikation der Geschwindigkeitsverteilung in einem Gas kann die optische Systemantwort des Gases auf Laserlicht wesentlich verändern. In diesem Fall zeigt sich der Einfluß des Lichtdrucks im transmittierten Licht in Änderungen von Absorptions- und Dispersionsprofilen [3, 4]. Derartige Effekte können wichtige Konsequenzen in der hochauflösenden Laserspektroskopie an Gasen haben.

## **2. Atomfallen**

Die Realisierung von Atomfallen mit Licht wird gegenwärtig weltweit intensiv verfolgt. Mit Hilfe sogenannter optischer Melassen konnten bereits Natriumatome auf  $T_{\text{eff}} \approx 50 \mu\text{K}$  abgekühlt und für mehrere Sekunden eingefangen werden; hierbei wird die spontane Streukraft ausgenutzt [5]. Unter Verwendung neuartiger Kühlverfahren [1, 6, 7] erscheint es möglich, Temperaturen weit unterhalb von  $10^{-6}$  K zu erreichen; dabei kann das durch den Photonenrückstoß gegebene Kühllimit unterschritten werden [6].

\* Neue Adresse: Fakultät für Physik, Universität Konstanz, 7750 Konstanz 1

### 3. Anwendungen ultrakalter Atome

Ultrakalte Atome sind für vielerlei Zwecke interessant [1]. Im Hinblick auf die höchstauflösende Spektroskopie sind speziell die Verminderung des Doppler-Effektes 2. Ordnung sowie die Verlängerung der Wechselwirkungszeit der Atome mit den externen Strahlungsfeldern (Laserfeld oder Hochfrequenzfeld) von Bedeutung. Kalte Atome eröffnen ebenfalls neue Perspektiven für die Untersuchung von Stoßprozessen der Atome untereinander, aber auch von Atomen mit Oberflächen im Grenzfall extrem langer de Broglie Wellenlängen. Ferner können bei sehr tiefen Temperaturen und hinreichend hoher Dichte auch kollektive Atomeffekte erwartet werden; unter geeigneten Bedingungen sollte hier eine Bose-Einstein Kondensation beobachtbar werden [1].

### 4. Atomoptik

Neben den vielfältigen Möglichkeiten für neue physikalische Untersuchungen an lasergekühlten, nahezu ruhenden freien Atomen bietet der Lichtdruck des Lasers auch faszinierende Perspektiven für eine *Teilchenoptik mit Atomen* [8]: Die Strahlungskräfte des Lasers gestatten im Prinzip die Realisierung von *Linse*n, *Spiegel*n und *Strahlteilern für atomare Teilchen*; hierbei steht die sogenannte Dipolkraft der Laserstrahlung im Vordergrund. Die entsprechende de Broglie-Wellenlänge  $\lambda_{dB} = h/mv_0$  der Materiewelle wird durch die mittlere atomare Geschwindigkeit  $v_0$  bestimmt; je nach Wahl von  $v_0$  kann  $\lambda_{dB}$  im Bereich von weniger als einem Angström bis in den Bereich von Mikrometern (für sehr langsame Atome) liegen. Die Bereitstellung „optischer Elemente“ für freie Atome ist von großem Interesse im Hinblick auf Atom-Interferometer, Neutralteilchenmikroskope oder zustandsselektive Atom-Reflektoren.

### Literatur

- [1] Siehe z.B.: J. Opt. Soc. Am. B 6 (1989) 1961–2288 (special issue on laser cooling)
- [2] V.G. Minogin and V.S. Letokhov, „Laser Light Pressure on Atoms“ (Gordon and Breach, New York, 1987)
- [3] R. Grimm and J. Mlynek, „Observation of Light-Pressure-Induced Dispersion in Yb Vapor“, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2308
- [4] R. Grimm and J. Mlynek, „Light-Pressure-Induced Line-Shape Asymmetry of the Saturation Dip in an Atomic Gas“, Phys. Rev. Lett. 63 (1989) 232
- [5] P.D. Lett et al., „Observation of Atoms Laser Cooled below the Doppler Limit“, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 169
- [6] A. Aspect et al., „Laser Cooling below the One-Photon Recoil Energy by Velocity-Selective Coherent Population Trapping“, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 826
- [7] Siehe z.B.: Y. Castin et al., „New Physical Mechanisms in Laser Cooling“ in „*Laser Spectroscopy IX*“, Eds.: M. Feld et al (Academic Press, Boston, 1989), S. 2
- [8] Siehe z.B. V.S. Balykin and V.S. Letokhov, „Laser optics of neutral atomic beams“, Physics Today, April 1989, S. 24

## **Medizinische Anwendungsfelder des Lasers in Gegenwart und Zukunft**

Von **Gerhard J. Müller\***

In den letzten Jahren hat der Laser in einer Reihe von Fachgebieten seinen festen Platz erworben, z.B. in der Ophthalmologie, Dermatologie, Neurochirurgie, HNO, Pulmologie, Gastroenterologie, Allgemeine Chirurgie, Urologie, Gynäkologie und Orthopädie. Entsprechend den gewünschten Problemlösungen müssen die Qualitäten der jeweils unterschiedlichen Lasersysteme herangezogen werden.

Der Argon Laser wird wegen seiner hohen Selektivität für körpereigene Chromophore in der Ophthalmologie und Dermatologie benutzt.

Der CO<sub>2</sub> Laser ist wegen seiner hohen Wasserabsorption und damit geringen Eindringtiefe in das Gewebe ein sehr exaktes Schneidinstrument. Er findet überall dort Verwendung, wo mikrochirurgisches Arbeiten bzw. flächenhaftes Abtragen gefordert ist. Sein Nachteil ist die zur Zeit fehlende Transmission der Strahlung über Fasern.

Der Nd:YAG Laser ist ein typischer Volumenkoagulator und wird überall dort eingesetzt, wo gefäßreiche Strukturen wie Fehlbildungen und Tumore vorliegen. Seine Übertragbarkeit durch Glasfasern gestattet eine universelle Anwendung. Über flexible oder starre Endoskope kann er zur Koagulation von Blutungen, bei höherer Leistung zur Rekanalisation von Tumorstenosen benutzt werden. Mit einem Fokussierhandstück und entsprechend hoher Leistungsdichte sind Resektionen an parenchymatösen Organen bei gleichzeitig guter Hämostase möglich.

### **Physikalische Grundlagen für Laser in der Medizin**

Um die Notwendigkeit der Gerätevielfalt zu verstehen, seien einige physikalische Grundlagen erwähnt.

LASER ist ein Akronym, das sich zusammensetzt aus **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**. Der Prozeß der induzierten Emission ist die Grundlage der Laserverstärkung. Um diesen Prozeß – **Besetzungsinversion** – nutzen zu können, müssen z.B. in einem Ensemble von Atomen (Ionen, Molekülen, Festkörper) Elektronen vorher von einem tieferen Energieniveau auf ein höheres angehoben worden sein. Die Zahl der Atome, bei denen das höhere, obere Laserniveau besetzt ist, muß also immer größer gehalten werden als die Besetzungszahl des niedrigen, unteren Laserniveaus. Als **Laserm Medien** können alle Stoffe verwendet werden, bei denen eine Besetzungsinversion erzeugt werden kann, z.B. freie Atome, Ionen, Moleküle, Molekül-

\* G.J. Müller, B.J. Schaldach, H.-P. Berlien, Laser-Medizin-Zentrum GmbH, Berlin, Krahmerstraße 6–10, 1000 Berlin 45

ionen in Gasen oder Dämpfen; Farbstoffmoleküle in Flüssigkeiten gelöst; Atome und Ionen in Festkörpern eingebaut; dotierte Halbleiter und freie Elektronen. Um eine Besetzungsinversion zu erzeugen, muß dem Lasermedium Energie in geeigneter Form zugeführt werden. Der jeweilige **Anregungsmechanismus** ist sehr speziell für den jeweiligen Lasertyp. Die wesentlichen Verfahren sind das optische Pumpen und die elektrische Gasentladung. Bei den Halbleiterlasern erfolgt die Anregung direkt durch elektrischen Strom. Auch chemische Reaktionen können zum Anregen genutzt werden.

In der Unterscheidung zur thermischen Lichtwelle sind es insbesondere drei Eigenschaften des Laserlichts, die für die medizinische Anwendung von Bedeutung sind. 1. **Kohärenz**: die Strahlung dieser Lichtquelle hat eine bestimmte räumliche und zeitliche Zuordnung (Phasenbeziehung); 2. **Kollimation**: die Strahlung des Lasers ist sehr gut gebündelt (geringe Divergenz); 3. **Monochromasie**: ein schmales Spektralband von hoher Intensität wird emittiert.

Diese drei Eigenschaften machen die gute Fokussierbarkeit zur Erreichung hoher Energiedichten und damit auch das exakte Arbeiten mit einem Strahl kleinster Querschnittsfläche möglich.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen Brennweite einer Linse, Arbeitsabstand und Energiedichte (Energie pro Fläche) im Gewebe. Vergrößert man den Arbeitsabstand über den Brennweitenwert der Linse, in dem der Fokus liegt, hinaus, so kommen in diesem defokussierten Bereich geringere Energiedichten am Gewebe zur Einwirkung. Ist der Arbeitsabstand exakt die Brennweite der Linse, werden hohe Energiedichten auf kleiner Fläche erreicht. Bei gleicher Brennweite, aber einer Vergrößerung des Arbeitsabstands erhält man geringere Energiedichten auf größerer Fläche.

Neben den physikalischen Grundeigenschaften Monochromasie, Kohärenz und Kollimation des Laserlichts werden viele weitere Eigenschaften in der Medizin genutzt. Wichtig für die Diagnostik mit Laserlicht sind das Absorptionsverhalten von Materie, die Fluoreszenz und das Streuverhalten. Diese Eigenschaften werden photometrisch und spektroskopisch ausgewertet.

In der Medizin werden bei unterschiedlichen Operationen spezielle Instrumente verwendet, für verschiedene klinische Anwendungsgebiete gibt es eine Vielzahl von medizinischen Lasergeräten. Diese unterscheiden sich einerseits in ihrer Emissionswellenlänge, die im Bereich des UV mit einer Wellenlänge von  $0,2\ \mu\text{m}$  beginnt und bis in den infraroten Bereich von etwa  $10\ \mu\text{m}$  Wellenlänge reicht, und andererseits in ihrer technisch-physikalischen Ausgestaltung, was die konstruktive Anordnung und das Zeitverhalten des Laserstrahls betrifft.

### Biophysikalische Wirkungen am Gewebe

In der Therapie werden die Wirkmechanismen der Strahlung mit den verschiedenen Gewebearten im wesentlichen durch zwei Parameter bestimmt: Zum einen die Einwirkzeit der Strahlen auf das Gewebe, zum anderen die effektiv zur Wirkung gelangende Leistungsdichte, bei der die gewebespezifische Absorption berücksichtigt ist.

### Klassen der Wirkprinzipien

#### Photochemische Effekte

#### Wirkprinzip

Photoinduktion

Biostimulation

Photoaktivierung von Drogen

POD

Photobestrahlung

Photochemotherapie

Photodynamische Therapie (PDT)

Black Light Therapy (PUVA)

Photoresonanz

#### Photothermal Effekt

Photohyperthermie

37° – 43° C

reversible Schädigung von normalem Gewebe

45° – 60° C

Ödemisierung der Zellen, Gewebeschweißen;

Eiweißfällung

Photothermolyse

Thermisch-Dynamische Effekte

mikroskopisch geringe Überhitzung

Photokoagulation

60° – 100° C

Koagulation, Nekrose

Photokarbonisation

100° – 300° C

austrocknen, Vaporisation von Wasser,

Karbonisation

Photovaporisation

&gt; 300° C

Pyrolyse, Vaporisation von Gewebestücken

#### Photoionisation oder

#### Photospaltung

Photoablation

schnelle thermische Explosion (Angioplastie)

Photodisruption

optischer Durchbruch, mechanische

Photofragmentation

Schockwelle (Lithotripsie)

In den Jahren von 1965 bis 1980 kam es aufgrund phänomenologischer Untersuchungen über die Wirkprinzipien zur Entdeckung immer neuer Anwendungsfelder. Mitte der 70er Jahre begann gezielt die Erforschung der Wirkmechanismen.

Für medizinische Behandlungen können **drei** Hauptklassen von Wirkprinzipien unterschieden werden:

**Erstens:** Die Klasse der photochemischen Wirkungen. Sie beinhaltet die Photoinduktion oder Photoaktivierung, gewöhnlich Biostimulation genannt, und die Photobestrahlung, wobei die Photodynamische Therapie oder Photosensibilisierung mit eingeschlossen ist. Hier wird die Laserenergie dazu benutzt, durch Absorption in entweder körpereigenen oder körperfremden Farbstoffen oder chromophoren Gruppen an Bio-

molekülen photochemische Reaktionen auszulösen. Vier grundsätzliche Arten von Reaktionen des photochemischen Mechanismus können unterschieden werden:

Die photoinduzierte Isomerisation – in der Bilirubin Degeneration

Die photoinduzierte Ladungs Produktion – im visuellen Prozeß

Die photoinduzierte Synthese – in der Photosynthese von Pflanzen

Die photoinduzierte Dissoziation – in der Photodynamischen Therapie (PDT)

**Zweitens:** Die Klasse der thermischen Effekte. Hier wird die auftreffende optische Strahlung in Wärme umgewandelt und verursacht Koagulation, Vaporisation oder Karbonisation, abhängig von der Temperatur. Koagulation des Gewebes wird bei einer Temperatur von 60° bis 80 °C erreicht. In diesem Fall wird das Gewebe abgetötet, aber als Gewebeverband erhalten. Das Gewebe wird dann später vom Körper abgebaut und durch einsprossendes neues Gewebe, ersetzt. Bei der Karbonisation im Temperaturbereich von 100 °C und 300 °C erfolgt eine Austrocknung von Gewebe, Vaporisation von Wasser. Die Vaporisation, das Verdampfen von Gewebe wird bei Temperaturen weit oberhalb von 300 °C erreicht.

**Drittens:** Die Klasse der ionisierenden Effekte. Im Prinzip sind es nicht thermische Wirkungen wie Photoablation und Photodisruption, welche zusammengefaßt als Photodecomposition (Photospaltung) von Material bezeichnet werden. Diese dritte Klasse von Wirkungen läßt sich am ehesten unter dem Begriff nicht-linearer Wirkungen zusammenfassen, da sich bei hohen Intensitäten die Effekte nicht mehr allein durch die lineare Absorption von Photonen beschreiben lassen. Mit gepulsten Lasern können Lichtintensitäten im Bereich von Megawatt bis Terawatt ( $10^6$ – $10^{12}$  W) im Nanosekundenbereich erzeugt werden. Bestrahlt man Gewebe mit gepulster UV-Laserstrahlung, so wird diese in einer sehr dünnen Oberflächenschicht absorbiert. Diese Gewebeschicht nimmt dabei so viel Energie auf, daß sie sich explosionsartig vom Untergrund löst. Man nennt diesen Bereich Photoablation, da es hier möglich ist, Materialfragmente rein lichtinduziert von der Oberfläche abzulösen, ohne daß es primär zu einer Erwärmung des entsprechenden Areals kommt.

### Etablierte Lasersysteme in der Medizin

Wegen seiner hohen Selektivität für körpereigene Chromophore gewinnt neben dem Argon Laser der Argon-Ionen gepumpte Farbstofflaser zunehmend an Bedeutung. Ein weiter Frequenzbereich vom Blaugrünen bis hin zum Roten (488, 514, 570–640 nm) läßt sich realisieren.

Der Nd:YAG Laser (1064 nm) ist ein typischer Volumenkoagulator und wird überall dort eingesetzt, wo gefäßreiche Strukturen vorliegen. Seine Übertragbarkeit durch Glasfasern gestattet eine universelle Anwendung. Über flexible oder starre Endoskope kann er zur Koagulation von Blutungen, Fehlbildungen oder Tumoren benutzt werden; bei höherer Leistung auch zur Rekanalisation von Tumorstenosen. Mit einem Fokussierhandstück und entsprechend hoher Leistungsdichte sind Resektionen an parenchymatösen Organen, wie Leber, Milz, Pankreas und Niere, bei gleichzeitig guter Hämostase möglich.

Gepulste Nd:YAG Lasersysteme haben sich in der Ophthalmologie zur Behandlung von Nachstarmembranen, aber auch in der Glaukomchirurgie einen Platz erwerben können.

Wird das Gewebe durch Verdampfen entfernt, ist dies der Effekt des Laserschneidens. Der CO<sub>2</sub> Laser (10600 nm) stellt wegen seiner hohen Wasserabsorption und damit geringen Eindringtiefe in das Gewebe ein sehr exaktes Schneidinstrument dar. Er findet deshalb überall dort Verwendung, wo mikrochirurgisches Arbeiten bzw. flächenhaftes Abtragen erforderlich ist. Sein Nachteil ist jedoch die zur Zeit fehlende Transmission der Strahlung über Fasern. Im mittleren Infrarot (9,6 – 10,6 µm) wird die Lichtenergie im Wasser absorbiert. Verglichen mit der Absorption der Laser im Sichtbaren hat man es hier mit einer um den Faktor 10 – 100 effektiveren Ankopplung zu tun, so daß deshalb die Eindringtiefe sehr gering ist, und es bereits bei geringeren Leistungsdichten zu einer Verdampfung des biologischen Materials kommt. Damit läßt sich Gewebe abtragen oder schneiden, ohne daß es zu einer wesentlichen thermischen Schädigung der Umgebung kommt.

### **Der berührungslose Einsatz**

Beim berührungslosen Einsatz von medizinischen Lasern wird die Laserstrahlung über Strahlführungssysteme an das Gewebe gebracht, ohne daß dabei das Gewebe berührt wird. Strahlführungssysteme, die für den berührungslosen Einsatz in Frage kommen, sind Spiegelgelenkarm und Quarz- bzw. Glasfasern. Während man mit Spiegelgelenkarmen weitgehend alle Laserwellenlängen übertragen kann, ist eine verlustarme Übertragung über Quarzfasern nur ca. von 200 nm bis zu 2000 nm möglich. An Lichtleitern, die auch für die Übertragung längerwelliger IR-Strahlung geeignet sind, wird derzeit gearbeitet. Gegenüber Spiegelgelenkarmen sind Lichtleiter flexibler.

### **Die Kontaktmethode**

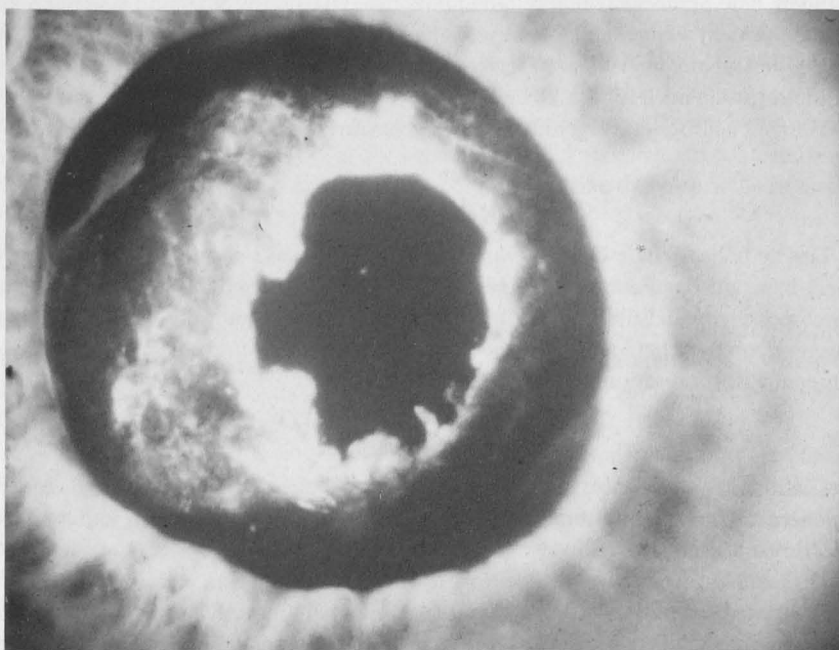
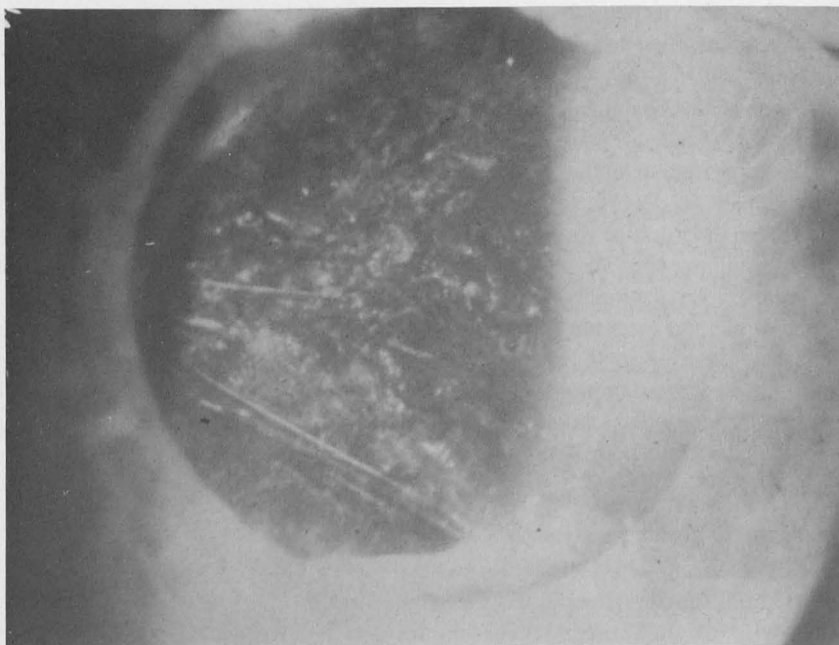
Das zu behandelnde Gewebe wird in direktem Kontakt mit dem Faserende (bare fiber) bzw. auf das Faserende aufgesetzte hot tip oder Saphirspitzen gebracht. Der Durchmesser handelsüblicher Lichtleiter (0,05–1 mm) erlaubt den endoskopischen Einsatz. Durch die heiße Faserspitze vaporisiert das Gewebe und eine scharf begrenzte homogene Karbonisationszone bleibt.

### **Anwendungsfelder**

Unabhängig von den Arten der Lasergewebewirkungen und übergreifend auf verschiedene Fachgebiete lassen sich grundsätzlich Anwendungsprinzipien in der Lasermedizin darstellen.

Dies ist zum einen die Lokalisation des Lasereinsatzes, zum anderen der Stellenwert, den der Laser im jeweiligen Therapiekonzept einnimmt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem Einsatz des Lasers als ein Hilfsinstrument im Rahmen einer größeren Operation oder als eigentliches Therapieverfahren bei endoskopischen Eingriffen,





*Wiedereröffnung der Nachstarmembran nach Kunstlinsenimplantation*

Kathetereingriffen oder sonstigen Laserbestrahlungen. Ein anderes Einteilungsprinzip ist die Körperregion. So finden sich Eingriffe an der Körperoberfläche, endoskopische Eingriffe oder der Lasereinsatz im Rahmen der offenen Chirurgie in vielen Fachgebieten.

Aufgrund der optischen Transparenz des Auges ist der Laser ebenfalls für Anwendungen in der Ophthalmologie prädestiniert. Der Glaskörper ist für ein weites Wellenlängenspektrum durchgängig, so daß durch die Linse direkt auf den Augenhintergrund eingesehen werden kann. Die erste Anwendung hier erfolgte beim Anschweißen von Netzhautablösungen. In der Augenheilkunde hatte sich der Laser deshalb als erstes einen Platz in der Routinetherapie erworben. Ein Beispiel für die Nutzung des Effekts des optischen Durchbruchs ist die Behandlung von Nachstarmembrantrübungen.

Da die Laserstrahlung an den zu bestrahlenden Ort gebracht werden muß, beschränkten sich die ersten Anwendungsgebiete und Indikationen für den Einsatz des Lasers zunächst auf oberflächliche Erkrankungen. In der Dermatologie wird der Laser zum Beispiel zur Therapie von Hyperpigmentationen, atypischen Behaarungen, Gefäßanomalien der Haut wie Naevus Flammeus oder Hämangiomen eingesetzt, und auch benigne und maligne Hauttumoren können mit dem Laser behandelt werden.

<b>Medizinisches Anwendungsfeld</b>	<b>Laser</b>	<b>Modus</b>
Chirurgie, Urologie, Dermatologie, HNO, Ophthalmologie	Ar <sup>+</sup> , (Kr <sup>+</sup> )	cw
Plastische Chirurgie, Dermatologie, Onkologie, Ophthalmologie	Argon-Dye	cw
Chirurgie, Urologie, Gynäkologie, Neurochirurgie, Gastroenterologie, Pulmologie	Nd:YAG	cw
Ophthalmologie, Lithotripsie	Nd:YAG	gepulst
Chirurgie, Urologie, Dermatologie, HNO, Gynäkologie, Neurochirurgie, Maxillo Facial Chirurgie	CO <sub>2</sub>	cw
Dermatologie, Urologie, Angiologie	Dye-Laser	gepulst
Angiologie, Ophthalmologie	Excimer	gepulst

Die Vorteile des Lasers in den chirurgischen Disziplinen lassen sich unter fünf Gesichtspunkten zusammenfassen.

- Blutstillung
- Präzises Arbeiten
- Verringerung der Instrumentenzahl im Operationsfeld
- Berührungsfreie Gewebeabtragung – Asepsis
- Minimale Traumatisierung des umliegenden Gewebes durch Kräftefreiheit



*Entfernung von Tätowierungen mit dem CO<sub>2</sub> Laser, Dr. Seipp, Darmstadt*

### Körperoberflächen

Eines der ersten Gebiete der medizinischen Laseranwendung war die Körperoberfläche. 1963 wurde er durch Goldmann erstmalig in der Dermatologie eingesetzt. Die Indikationen können in zwei Hauptaufgaben unterteilt werden:

- das Abtragen oder Koagulieren von Haut- und Hautanhangsgebilden und
- die Therapie von intrakutanen Gefäßveränderungen und Mißbildungen

Hauttumore, wie Basaliome, Spinaliome und Melanome, werden heute vorzugsweise mit dem Nd:YAG Laser koaguliert oder alternativ mit dem CO<sub>2</sub> Laser abgetragen.

Mit dem Argon- oder Argon-Dye Laser werden Pigmentanomalien behandelt, es kann hier auch der Nd:YAG Laser zum Einsatz kommen.

Zum Entfernen von viral-induzierten Tumoren (Kondylomata, Mollusken, Verrucae) werden fast gleichberechtigt der Argon, Nd:YAG und CO<sub>2</sub> Laser eingesetzt. Der CO<sub>2</sub> Laser führt wegen seiner geringen Eindringtiefe in das Gewebe zu einer Vaporisation der Strukturen, während Argon und Nd:YAG Laser mit ihren größeren Eindringtiefen zu einer Koagulation des Gewebes führen, welches später abgestoßen wird. Bei der Behandlung von Epitheldysplasien (Leukoplakien, Morbus Bowen) wird hauptsächlich der CO<sub>2</sub> Laser eingesetzt. Er führt zu einer sofortigen Evaporisation der Haut. Zur Therapie von trophischen Ulzera und zur Reinigung am Wundgrund wird er gleichfalls eingesetzt. Beim Entfernen von Tätowierungen wird der Argon und der CO<sub>2</sub> Laser angewendet.

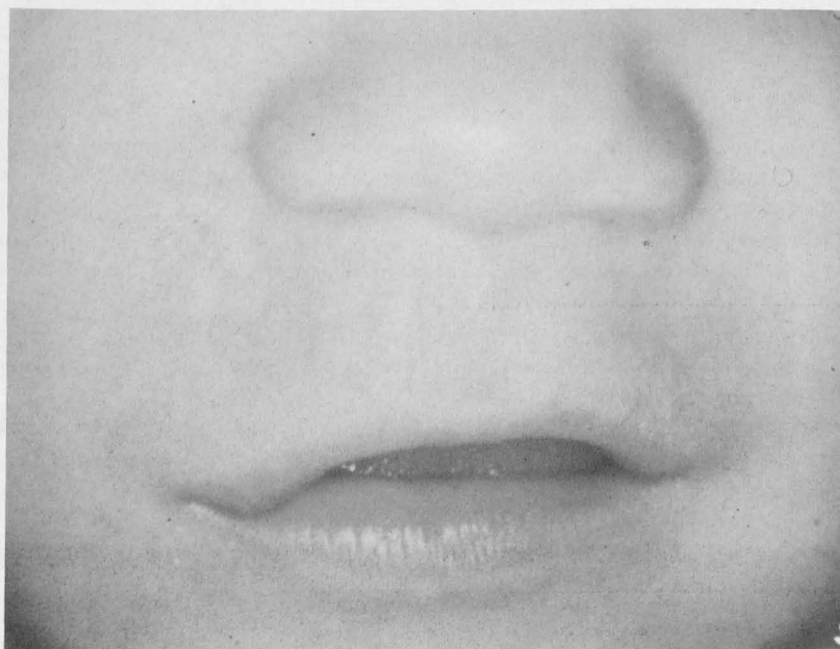
### Gefäßsystem

Bei der Therapie körperflächennaher Gefäßveränderungen – Spider naevi, Naevus flammeus und kutanen plano-tuberösen Hämangiomen – haben sich der Argon und der Nd:YAG Laser bewährt. Besonders der Argon Laser mit seiner geringen Eindringtiefe und der hohen Absorption seiner Strahlung an Hämoglobin kommt für die Therapie oberflächiger Gefäßveränderungen in Betracht. In den so behandelten Gefäßen wird eine thermisch dynamische Spätreaktion in Form einer Angiitis induziert, die zu einer Okklusion der Teleangiektasien führt. Die okkludierten Venen werden der natürlichen Resorption überlassen.

Hämangiome sind die häufigsten Mißbildungen im Kindesalter, ihre Behandlung ist umstritten. Ein Großteil der Hämangiome heilt bis zum 8. Lebensjahr spontan ab, weshalb ein Abwarten gerechtfertigt ist.

Bei ungünstiger Lokalisation, z.B. im Gesicht oder an funktionell wichtigen Strukturen, kann ein weiteres Wachstum zu erheblichen funktionellen Störungen bzw. Entstellungen führen. Daraus ergibt sich eine Therapieindikation schon im Säuglings- oder im frühen Kindesalter. Wegen seiner genügend großen Penetrationstiefe kommt hier der Nd:YAG Laser zum Einsatz, wobei die Haut mittels spezieller Eiswürfel gekühlt werden muß, um Hautverbrennungen zu vermeiden.

Eine weitere Applikationsform ist die perkutane intraluminale Bestrahlung voluminöser Kavernome mit der bare fiber. Mit Hilfe einer Kanüle wird die Faser intraluminal plziert. Bei einer Ausgangsleistung von 10–15 W und einer Expositionszeit von 1–5 s



*Hämangiom an der Oberlippe eines Kleinkindes vor und nach der Argon Laser Behandlung*



*Warzenbehandlung an Daumen vor und nach CO<sub>2</sub> Laser Behandlung, Dr. Seipp, Darmstadt*

kommt es intraluminal zu einer Thrombosierung des Blutes und einer Schädigung der Gefäßwand mit nachfolgender Obliteration. Während der Laserbestrahlung muß das Faserende frei gespült werden, da die Faser sonst zerstört wird. Auch hier kommt der Nd:YAG Laser zum Einsatz.

### **Endoskopie**

Mit der Einführung der Endoskopie vollzog sich ein grundlegender Wandel in der operativen Medizin. Lassen sich doch durch diese Technik konventionelle operative Eingriffe erleichtern. Durch Vermeidung der Eröffnung einer Leibeshöhle sinkt das Infektrisiko, und die Gefahr von postoperativen Verwachsungen wird deutlich geringer. Für den Patienten ist die Operationsbelastung erheblich reduziert.

Laserlicht, das über Lichtwellenleiter an die Stelle der Applikation geleitet wird, kann hier zu einer weiteren Verkleinerung und damit zu einer weiteren Flexibilisierung des endoskopischen Operierens führen. Hier sind in den letzten Jahren schon entsprechende Entwicklungen begonnen worden, jedoch erweist sich für viele Indikationen das Instrumentarium als noch zu groß bzw. unhandlich. Durch Weiterentwicklung dieser Instrumente, insbesondere Verfeinerung der flexiblen Endoskope, werden sich eine Reihe von neuen Indikationen für den Lasereinsatz ergeben, die bislang konventionell operiert werden mußten oder keiner Therapie zugänglich waren.

Die Faser wird über den Arbeitskanal in das Endoskop eingeführt und unter Sicht am gewünschten Wirkort plaziert.

Mit Hilfe dieser Technik können maligne Stenosen der Speiseröhre und des Magen-Darm-Trakts eröffnet werden. Dabei gelingt die Passageherstellung in 75–90% der Fälle. Komplikationen treten in 4–8% auf, bei 1–2% enden diese tödlich.

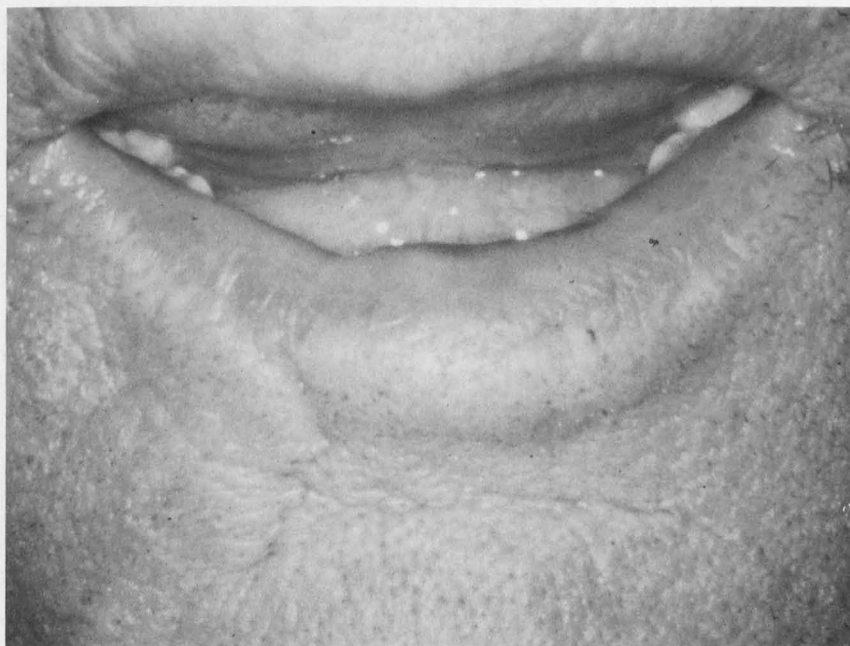
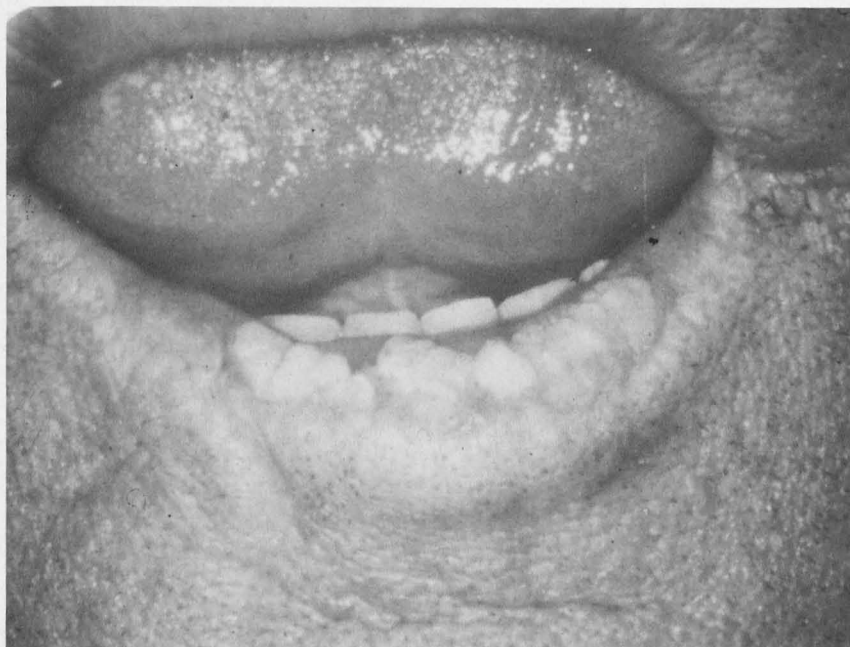
Die zeitliche Wirkung der Laserbehandlung ist jedoch begrenzt. Nach 3 Wochen bis 3 Monaten treten z.B. beim Ösophagus Karzinom Rezidivstenosen auf, die eine erneute Behandlung erforderlich machen.

Eine weitere Methode ist die endoskopische Laserlithotripsie von Gallensteinen. Seit der Einführung der endoskopischen Papillotomie durch CLASSEN und DEM-LING 1974 entwickelte sich dieses Verfahren sprunghaft und stellt heute bei isolierten Choledochussteinen die Therapie der Wahl dar. Doch trotz Weiterentwicklung des technischen Zubehörs – hierzu zählt die mechanische, elektrohydraulische und ultraschall-gesteuerte Lithotripsie – verbleibt eine endoskopisch-therapeutische Lücke.

Mit Hilfe eines Nd:YAG Lasers werden Gallensteinkonglomerate fragmentiert und anschließend endoskopisch entfernt. Zur Anwendung kommt diese Technik bei Patienten, die schwerwiegende Begleiterkrankungen aufweisen, ihnen kann so ein größerer Eingriff in Allgemeinnarkose erspart werden. Komplikationen treten dabei nicht auf.

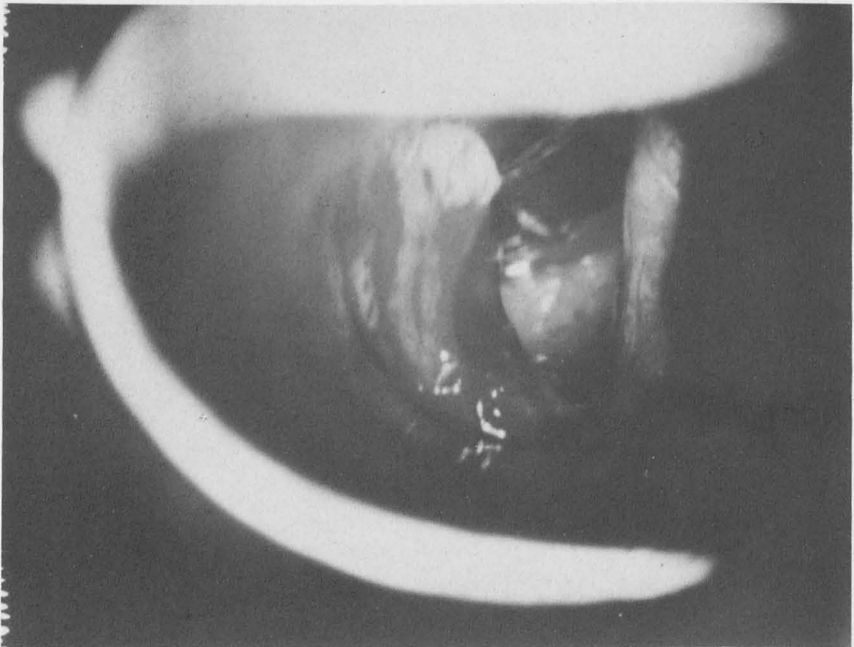
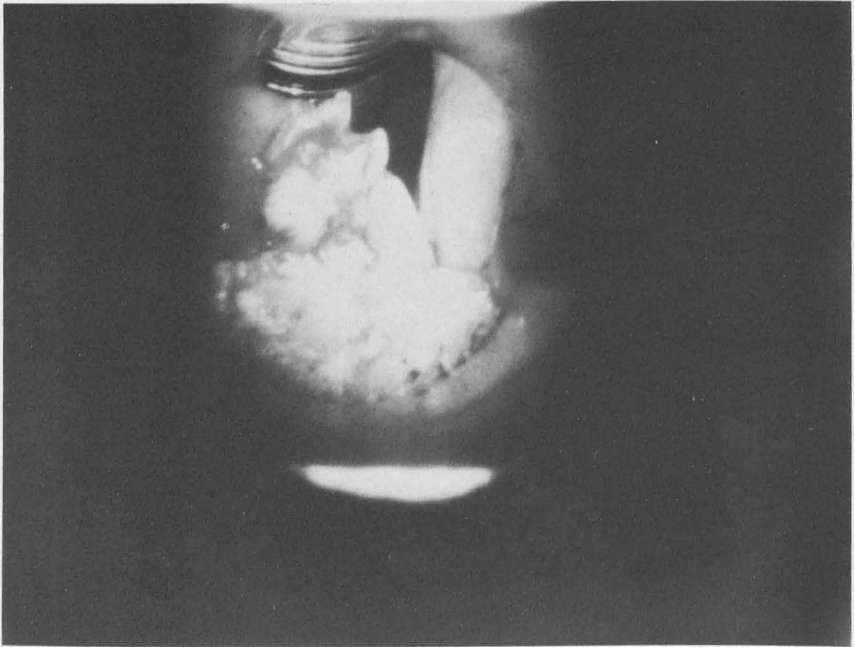
Bei der Behandlung angeborener narbiger, nicht bösartiger Veränderungen wird mit dem Nd:YAG in der Kontaktmethode mit einer bare fiber gearbeitet.

Der CO<sub>2</sub> Laser kann zur Zeit nur über einen Spiegelgelenkarm zum Ort geführt werden. Sein Einsatz ist nur mit starren Endoskopen möglich.



*Leukoplakie der Unterlippe vor und nach CO<sub>2</sub> Laser Behandlung*

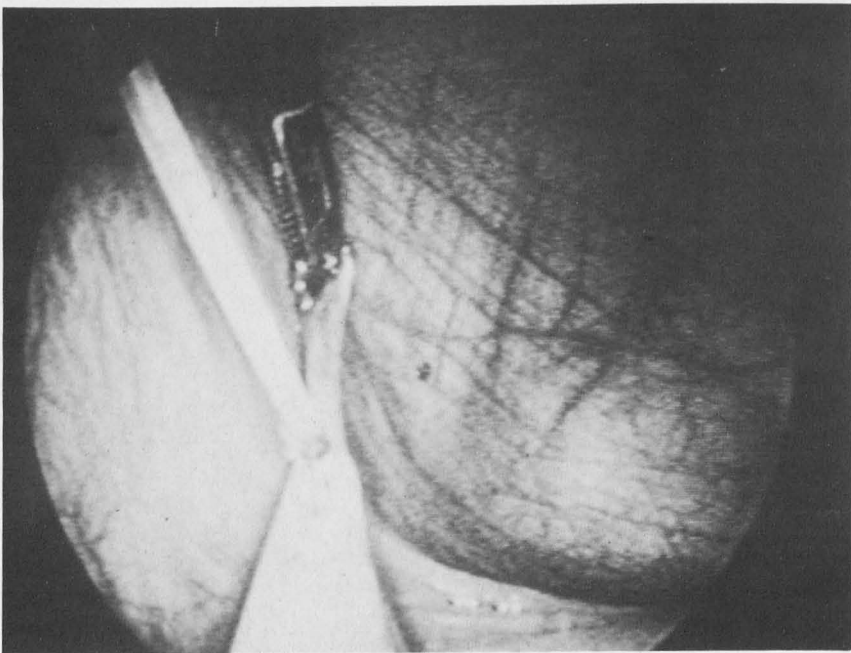
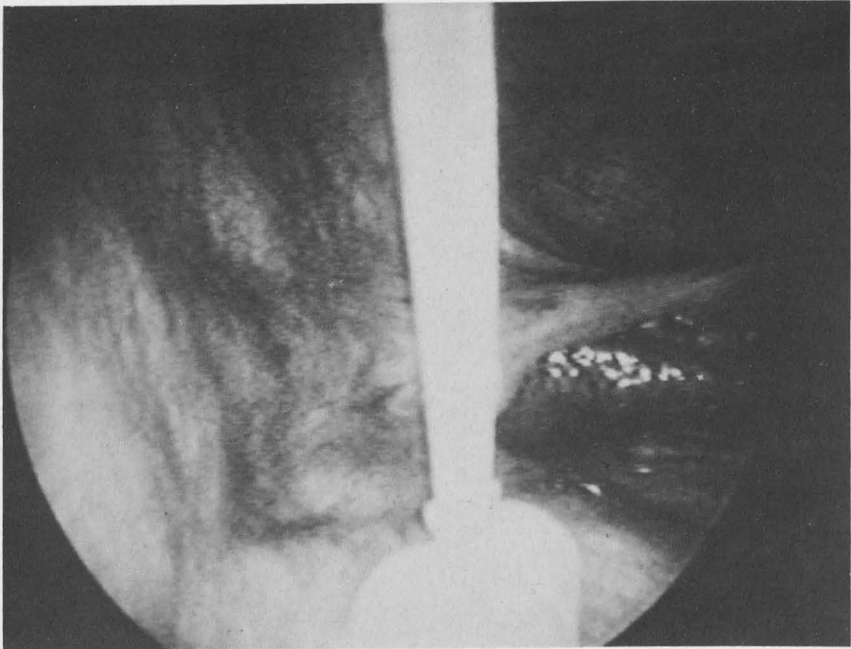




*Stimmrippentumor vor und unmittelbar postoperativ nach CO<sub>2</sub> Laser Behandlung*



*Lebertumor vor und unmittelbar nach Leberlappenresektion mit dem Nd:YAG Laser*



*Verschuß einer Fistel bei einem Neugeborenen und Auftrennung des Verwachsungsstranges  
mit der bare fiber Technik (Nd:YAG Laser)*

## Offene Chirurgie

Chirurgische Eingriffe sind auch bei exakter präoperativer Planung nicht frei von intra- oder postoperativen Komplikationen. Sorgen bereiten Blutungen während oder nach einem Eingriff, Gallelecks bzw. -fisteln nach Leberresektion, Komplikationen nach Operationen am Pankreas, der Milz, Niere, Mamma und insbesondere im Gehirn. In der Kinderchirurgie kann ein Blutverlust von 100 ml bereits zu einem lebensbedrohlichen Schock führen, der zur Transfusion zwingt.

In der Schädelhöhle setzen Neurochirurgen den Laser zur Tumoresektion, Angiomverödung, bei stereotaktischen Operationen sowie zur Plexuskoagulation ein. Die Laser, die hier zur Anwendung kommen, sind der Argon, Nd:YAG und CO<sub>2</sub> Laser.

In der offenen Thoraxchirurgie wird der Laser zur Lungenparenchymresektion eingesetzt, zur Behandlung von Fisteln und bei Dekortikationen. Für offene Operationen in der Bauchhöhle hat sich der Nd:YAG Laser zur Resektion parenchymatöser Organe etabliert. Venen mit einem Durchmesser von 3–5 mm und Arterien bis zu 1,5 mm werden primär bei der Durchtrennung verschlossen. Größere Gefäße müssen vorher ligiert werden.

In der gynäkologischen offenen Abdominalchirurgie etablieren sich die Laser. Bei einigen operativen Refertilisierungsverfahren, so der intrapelvinen Adhäsiolyse, der Tubenimplantation und bei Myomextirpationen kommt der CO<sub>2</sub> Laser zur Anwendung.

Bei Mammaamputationen und subkutanen Mastektomie werden CO<sub>2</sub> und Nd:YAG Laser eingesetzt.

Die weitere Indikation ist bei mechanischen irritierenden Fehl- oder Neubildungen gegeben, z.B. Interdigitalneurom, Ganglionzysten, Hackenneurom, dem knöchernen Hackensporn, Knochen- und Hüftgelenkoperationen bei Hämophiliekranken und beim Tarsaltunnelsyndrom. Durch das Einsetzen des CO<sub>2</sub> Lasers werden die mechanisch irritierenden Strukturen vollständig evaporisiert und deren Neubildung verhindert.

Der Einsatz von synthetischen Saphiren in der Kontaktmethode führt zu einem sehr schmalen Koagulationssaum, so daß die hämostatische Wirkung teilweise hinter denen der HF- oder IR-Andruckkoagulatoren zurück steht. Der Einsatz der Kontaktskalpelle zur Organdurchtrennung ist deshalb nicht sinnvoll. Andererseits sind sie gerade wegen ihrer schmalen Koagulationszone eine hilfreiche Erweiterung bei der Präparation von Strukturen und können so teilweise das Einsatzgebiet des Ultraschalldissektors übernehmen mit dem Vorteil, daß kapilläre Blutungen bei der Präparation gestillt werden. Zubehör, das einen einfachen Wechsel von der Kontaktmethode zur Präparation zur Non-Kontaktmethode zur Organ- bzw. Tumoresektion erlaubt, stellt eine wesentliche Operationserleichterung dar.

## Zukunftsperspektiven

So hat der Laser in den letzten Jahren in einer Reihe von medizinischen Fachgebieten seinen festen Platz erworben. Es bleibt jedoch festzuhalten, daß es für keines dieser

Fachgebiete einen bestimmten Laser gibt, sondern, daß entsprechend den gewünschten Problemlösungen, die Qualitäten jeweils unterschiedlicher Lasersysteme herangezogen werden müssen.

Vor dem Hintergrund der hier beispielhaft angesprochenen Anwendungen des Lasers in der Medizin wird sich auch die künftige Entwicklung abspielen. Dabei werden folgende Faktoren maßgeblich sein:

- Das noch bessere Verständnis der Wirkmechanismen
- Die Verfügbarkeit technisch ausgereifter Laserkonstruktionen und entsprechender Systemkonzepte, die dann auch zu einer Kostensenkung und damit breiterer Akzeptanz des Lasers führen
- Die Verfügbarkeit flexibler, optischer Transmissionssysteme für die entsprechende Strahlung, insbesondere von geeigneten optischen Fasern sowohl für den UV- als auch für den Infrarotbereich
- Das geeignete Zubehör
- Kombinationstherapien, bei denen der Laser nur einen Teil des Therapiekonzepts darstellt – palliative Tumorbehandlung mittels Afterloading-Verfahren, Anwendung von Photosensitisern zur lokalen Veränderung des Absorptionsverhaltens im biologischen Gewebe

Konkret wird der Laser zur Lösung bestehender Probleme beitragen:

Im cardiovasculären Bereich der Gefäßrekanalisation, d.h. die Wiedereröffnung von subtotalen oder totalen Stenosen im arteriellen Gefäßsystem.

Weiter wird es möglich sein, durch Laserstrahlung Steine zu zertrümmern bzw. aufzulösen, sowohl im Bereich des Nierenbeckens, der Blase und den harnableitenden Wegen, als auch im Bereich der Gallenwege.

Aus technischer Sicht geht der Trend in immer stärkerem Maße zur Nutzung von Festkörperlasern und Halbleiterlasern, die zu technisch einfacheren Systemen führen. Die Entwicklung entsprechenden Zubehörs wird im Bereich der endoskopischen Laserchirurgie immer neue und erweiterte Anwendungen ermöglichen.

In jedem Fall muß sich aber die Lasermedizin mit ihren Möglichkeiten am Stand etablierter oder alternativer technischer Verfahren messen, um so auch gezielt zu einer Verbesserung des Kosten-/Nutzenverhältnisses in der Medizin beizutragen.

**Feierliche Jahresversammlung 1989  
am 2. Juni 1989  
in der Dornse des Altstadttrathauses in Braunschweig  
– Begrüßung und Bericht des Präsidenten der BWG**

Hochansehnliche Festversammlung,  
meine sehr verehrten Damen,  
meine Herren!

Mein Gruß gilt unserem Landtagsabgeordneten Herrn SEHRT.

Von der Bezirksregierung Braunschweig heiße ich Herrn Vizepräsidenten SCHNÖCKEL herzlich willkommen.

Vom Rat der Stadt Braunschweig begrüße ich den Ratsherrn KOHL.

Sodann begrüße ich die Vertreter der

- politischen Parteien
- der Gewerkschaften
- der Kammern
- der Wirtschaft
- der Bundes- und Landesbehörden
- der städtischen Behörden

sowie

des Fernsehens, des Rundfunks und der Presse.

Besonders freuen wir uns über den Besuch des Vertreters der Stiftung VOLKSWAGENWERK, Herrn Dipl.-Ing. PENSCHUCK.

Ein herzliches „Willkommen“ sage ich den zahlreich erschienenen Kollegen aus der Wissenschaft, so dem Präsidenten der Deutschen Akademie der Naturforscher LEOPOLDINA, Herrn Prof. Dr. BETHGE, und dem Präsidenten der JOACHIMJUNGIUS-GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN in Hamburg, Herrn Prof. Dr. SEIFERT sowie dem Vertreter der Göttinger Akademie. Den Repräsentanten der Universitäten unseres niedersächsischen Raumes gilt mein besonderer Gruß, so dem Präsidenten der CAROLO WILHELMINA, Herrn Prof. Dr. REBE, dem Präsidenten der GEORGIA AUGUSTA, Herrn Prof. Dr. KAMP, sowie dem Prorektor der Technischen Universität Clausthal, Herrn Prof. Dr. MÜLLER.

Besonders herzlich begrüße ich ferner die Kollegen der Universitäten des In- und Auslandes, vor allem die Referenten unserer am Vormittag durchgeführten Vortragsveranstaltungen, die Herren Prof. Dr. LEUCHS, Garching, Prof. Dr. MLYNEK, Zürich, Prof. Dr. MÜLLER, Berlin.

Zugleich danke ich Ihnen für Ihre Bereitschaft, unseren heutigen Preisträger, Herrn Prof. Dr. WALTHER, durch Ihre wissenschaftlichen Beiträge besonders zu würdigen.

Das gilt auch für alle ordentlichen und korrespondierenden Mitglieder der BWG, die aus dem gesamten Bereich Niedersachsen heute in Braunschweig zusammengetroffen sind.

Meine sehr verehrten Damen, meine Herren!

An dieser Stelle möchte ich mir erlauben, einige Gedanken über den Sinn und die Aufgabe der Feierlichen Jahresversammlung vorzutragen:

1. Es soll **Rechenschaft** abgelegt werden über unsere wissenschaftlichen Aktivitäten, die sich einerseits in den Vorträgen und Diskussionen der Plenar- und Klassensitzungen widerspiegeln. Zum anderen gilt es, die Tätigkeiten unserer Kommissionen, deren Symposien und die entsprechenden Veröffentlichungen zu kennzeichnen. Dazu tragen auch unsere beiden regelmäßig erscheinenden Publikationsorgane, das „Jahrbuch“ und die „Abhandlungen“, bei.
2. Wir möchten durch die **Vortragsveranstaltungen** am Vormittag den Gedankenaustausch über den Rahmen der eigenen Möglichkeiten hinaus fördern und auch die Öffentlichkeit mit **aktuellen wissenschaftlichen Problemen** vertraut machen.
3. Es geht ferner **um** Kontakte und **um** Gespräche mit Persönlichkeiten all jener Institutionen, die ich am Anfang meiner Begrüßung genannt habe, auch in der Hoffnung, dort zusätzliche Anregungen und Hilfen – die wir ja durchaus benötigen – zu erhalten.
4. Schließlich betrachten wir als den Höhepunkt unserer Veranstaltung die Verleihung der **Carl-Friedrich-Gauß-Medaille**, die jeweils nach dem Vorschlag einer unserer vier Klassen – in einer bestimmten Reihenfolge – verliehen wird.

Mein *Bericht* erstreckt sich auf die Zeit von der letzten Feierlichen Jahresversammlung, also vom 24. Juni 1988 bis heute. Während dieser Zeit hatte unsere Gesellschaft sieben *Todesfälle* zu beklagen:

Am 17.07.88 verstarb in seinem 79. Lebensjahr Prof. Dr. Karl BAMMERT, ordentliches Mitglied der BWG seit 1976.

Prof. BAMMERT war Direktor des Instituts für Strömungsmaschinen der TU Hannover. Er hat auf den Gebieten Gas-, Helium- und Dampfturbinen, Turbokompressoren, Gasdynamik, Aero-, Thermo- und Hydrodynamik Bedeutendes geleistet und war Mitglied und Berater in vielen in- und ausländischen wissenschaftlichen und industriellen Gremien und Organisationen. Er war Träger der Ferdinand-Redtenbacher-Plakette der Universität Karlsruhe.

Am 01.08.88 verstarb im Alter von 80 Jahren Prof. Dr. Leopold MÜLLER, korrespondierendes Mitglied der BWG seit 1983. 1983 wurde ihm von der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft die **Carl-Friedrich-Gauß-Medaille** für hervorragende Leistungen auf dem Gebiet der Felsmechanik verliehen. Prof. Müller war Mitglied zahlreicher Organisationen und wissenschaftlicher Gesellschaften sowie Träger vieler Auszeichnungen und Ehrungen. Er wirkte als Professor vor allem in **Salzburg**.

Am 11.08.88 verstarb in seinem 65. Lebensjahr Prof. Dr. Bruno BREHLER, ordentliches Mitglied der BWG seit 1974.

Prof. Brehler war Inhaber des Lehrstuhls für Mineralogie und Kristallographie an der TU Clausthal und hat sich durch wesentliche Arbeiten auf dem Gebiet der **Kristallforschung** hervor getan.

Am 19. 09. 88 verstarb im Alter von 74 Jahren Prof. Dr. Eduard PESTEL, ordentliches Mitglied der BWG seit 1959.

Prof. Pestel war Direktor des Instituts für Mechanik der TU Hannover und Mitglied vieler in- und ausländischer Kommissionen und Gesellschaften, u.a. im Nato-Wissenschaftsausschuß, in Senat und Hauptausschuß der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Von 1977 bis 1981 war er Niedersächsischer Minister für Wissenschaft und Kunst.

Am 21. 02. 89 verstarb Prof. Dr. Werner PÖLS im Alter von 62 Jahren, ordentliches Mitglied der BWG seit 1982.

Herr Prof. Pöls war Inhaber des Lehrstuhls für Geschichte an der TU Braunschweig und hat sich durch bedeutende Arbeiten auf dem Gebiet der Neueren Geschichte (so u.a. über Bismarck) ausgezeichnet.

Am 11. 03. 89 verstarb in seinem 68. Lebensjahr Prof. Dr. Hans REUTHER, ordentliches Mitglied der BWG seit 1982. Der Abschied von ihm hat uns sehr betroffen, hatte er doch kurz zuvor noch in unserem Kreis gewelt.

Prof. Reuther war Direktor des Instituts für Architektur und Stadtgeschichte an der TU Berlin. Er hat sich durch hervorragende Leistungen auf den Gebieten Niedersächsischer Bau- und Kunstgeschichte, Deutscher und Skandinavischer Barockarchitektur und Geschichte des abendländischen und orientalischen Gewölbebaus ausgezeichnet.

Prof. Reuther war Mitglied vieler wissenschaftlicher Gesellschaften und Kommissionen.

Am 30. 04. 89 verstarb Prof. Dr. Gottfried KÖTHE in seinem 83. Lebensjahr, korrespondierendes Mitglied der BWG seit 1974. Er wirkte als o. Professor für Mathematik an den Universitäten Heidelberg und Frankfurt. 1963 wurde ihm von der BWG die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille für hervorragende Verdienste auf dem Gebiet der Algebra und Funktionsanalysis verliehen.

Prof. Köthe war als herausragender Mathematiker Mitglied vieler wissenschaftlicher Akademien und Gesellschaften und Träger zahlreicher Ehrungen und Auszeichnungen.

Sie haben sich zu Ehren der Verstorbenen erhoben; ich danke Ihnen.

Am 16. Dezember 1988 wählte das Plenum der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft in der Wahlversammlung folgende ordentliche Mitglieder hinzu:

#### **in der Klasse für Geisteswissenschaften**

Herrn Prof. Dr. phil. Dr. phil. habil. Dr. h.c. Dr. h.c. Paul RAABE, Direktor der Herzog August Bibliothek, Wolfenbüttel, und

#### **in der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik**

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Karl SCHÜGERL, Leiter des Instituts für Technische Chemie an der Universität Hannover sowie

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Klaus SCHWAB, Inhaber des Lehrstuhls für Geologie und Paläontologie an der Universität Clausthal.



Ebenfalls am 16.12.88 wählte das Plenum der BWG zu Korrespondierenden Mitgliedern:

**in der Klasse für Geisteswissenschaften**

Herrn Prof. em. Dr. phil. Günter NEUMANN, zuletzt ordentlicher Professor an der Universität Würzburg, und

Herrn Prof. Dr. Sergei LAVROV, Leiter des Lehrstuhls für Ökonomische Geographie an der Universität Leningrad, und

**in der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik**

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Christoph J. SCRIBA, Inhaber des Lehrstuhls für Geschichte der Naturwissenschaften an der Universität Hamburg.

In der Wahlversammlung am 14.04.89 wurden durch das Plenum der BWG folgende ordentliche Mitglieder hinzugewählt:

Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Alfred FÜHRBÖTER, Direktor am Leichtweiß-Institut für Hydromechanik der TU Braunschweig, sowie

Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Hans PELZER, Direktor des Geodätischen Instituts der Universität Hannover, ferner

**in der Klasse für Ingenieurwissenschaften**

Herr Prof. Dr. rer. nat. Frank HAESSNER, Direktor des Instituts für Werkstoffkunde und Herstellungsverfahren.

Zum korrespondierenden Mitglied wurde am 14.04.89 hinzugewählt:

**in der Klasse für Geisteswissenschaften**

Herr Prof. em. Dr. phil. Dr. phil. habil. Erich HUBALA, zuletzt Inhaber des Lehrstuhls für Kunstgeschichte an der Universität Würzburg.

Somit zählt die BWG 119 ordentliche Mitglieder, davon sind 33 über 70 Jahre alt und werden auf die in der Satzung festgelegte Höchstzahl von 110 Mitgliedern nicht angerechnet.

Außerdem hat die BWG zur Zeit 65 Korrespondierende Mitglieder.

Ich komme nun zur **Tätigkeit der BWG** im vergangenen Jahr: Es fanden im Plenum 7 wissenschaftliche Sitzungen statt, wobei folgende Themen behandelt wurden:

- 1) Der Bauingenieur und Thalia
- 2) Entwicklungsgeschichte der „Rechenmaschine“
- 3) Entwicklung und Spezialisierung der wichtigsten städtischen Zentren in der Bundesrepublik Deutschland
- 4) Bestattungsbrauch und Grablegung der deutschen Könige
- 5) Was wird aus der Nordsee und ihrem Küstenraum?
- 6) Lehramt und Lehrautorität in der evangelischen Kirche
- 7) Optimierung alter biotechnologischer Verfahren

In den Sitzungen der 4 Klassen wurden folgende fachwissenschaftlich enggefaßte Themen behandelt:

- 1) ‚Seriell-parallel‘ in der Informatik
- 2) Isotopenchemie gasförmiger Kohlenwasserstoffe
- 3) Die Laurent-Trennung
- 4) Zum Mechanismus der Wärmeübertragung beim Kühlen von Metallen mit verdampfenden Flüssigkeiten
- 5) Optimierung von Ofenanlagen mit Wärmerückgewinnung aus dem Brenngut
- 6) Nutzung einer Gewerbebrache oder der Blick durch eine neo-romanische Giebelrosette
- 7) Die Vernünftigkeit des Neuen Testaments
- 8) Rom September 1943 – Geschichte eines Waffenstillstandes
- 9) Freiheit des Handelns und göttlicher Fügung im Geschichtsverständnis mittelalterlicher Autoren
- 10) „Ihm sinne nach und du begreifst genauer –“ Goethes Grundsymbol vom Bunten Bogen und was Max Beckmanns Faust-Illustration davon übrig gelassen hat
- 11) Der Gott der römischen Philosophen
- 12) Das gotländische Domikalgewölbe – seine Wechselwirkung mit Niedersachsen und Westfalen
- 13a) Zu den Wurzeln der Modernen Architektur (Teil I)
- 13b) Zu den Wurzeln der Modernen Architektur (Teil II)
- 14) Goethe als Bibliotheksreformer

Schließlich sollen im Zusammenhang mit den wissenschaftlichen Aktivitäten noch die drei öffentlichen Vorträge erwähnt werden, die vor einem Jahr die Jahresversammlung wissenschaftlich begleiteten.

Es sprachen damals:

Prof. Dr. Matthias BOHNERT, Braunschweig, über „Wärmeübertragungsprobleme bei Belagbildung in verfahrenstechnischen Apparaten“

Prof. Dr. Kurt LESCHONSKI, Clausthal, über „Windsichter, verfahrenstechnische Maschinen zur Herstellung definierter, pulverförmiger Produkte“ und

Prof. Dr. Dieter MEWES, Hannover, über „Einfluß des Wärme- und Stoffübergangs auf den Umsatz in chemischen Reaktoren“.

Veröffentlicht wurde in den letzten 12 Monaten Band 40 der Abhandlungen der BWG mit Beiträgen zu unterschiedlichen Themen wie:

Über Öffnungsmaße kinematisch erzeugter geschlossener Regelflächen

Über ‚quasi-vollkommene Zahlen‘

Zur Anormalität von Strahlen einer kinematisch erzeugten Kongruenz

Symmetriegruppen idealer MHD-Gleichungen

Eine Weiterführung der Variations- und Funktionalrechnung für die Anwendung in den Optimierungsverfahren

Das wissenschaftliche Werk Hellmut Hartmanns

Finite-Element Modeling of the Global Ocean Tides and Currents in the Time Domain

L'œuvre d'Honorius Augustodunensis:

Inventaire critique (dritter Teil)

Termingerecht zur Jahresversammlung erschien das Jahrbuch 1988. Es ist rechtzeitig versandt worden.

Die Drucklegung unserer 2 Veröffentlichungsbände erfordert viel Arbeit. Ich möchte mich dafür besonders bei unserem ehemaligen Generalsekretär, Herrn Prof. Dr. E. Richter, und unserem amtierenden Generalsekretär, Herrn Prof. Dr. H. Thies, bedanken.

Die Schwerpunkte der einen größeren Rahmen umfassenden wissenschaftlichen Tätigkeit dokumentieren sich in den Kommissionen. So hat die unter der Leitung von Herrn Professor GOSEBRUCH stehende „Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte“ (Klasse für Geisteswissenschaften) im Berichtszeitraum die Publikation „Bernwardinische Kunst“ als Band 3 der Veröffentlichungsreihe herausgebracht. Ein weiteres Symposium ist für den Herbst 1989 in Goslar vorgesehen.

Die im Jahre 1986 gegründete Kommission „Technik und Umwelt“ (Klasse für Ingenieurwissenschaften) hat unter Leitung von Herrn Professor JESCHAR eine Reihe von Diskussionsveranstaltungen – so z.B. in Clausthal – durchgeführt, wobei Probleme der Schadstoffbeseitigungseinrichtungen, ausreichender Umweltverträglichkeit und hoher Wirtschaftlichkeit im Vordergrund standen.

Die Einrichtung einer Kommission „Technik und Recht“ ist beabsichtigt und wird zur Zeit von den Gründungsmitgliedern vorbereitet.

Zum Schluß seien einige Gedanken zur Situation der BWG erlaubt:

1. Alle Wissenschaftlichen Akademien und Gesellschaften lassen einen eigenen, vielfach voneinander differenzierten Stil erkennen. Dies gilt auch für die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft. Geprägt durch den besonderen Akzent, den die technischen Schwerpunkte Braunschweig, Hannover und Clausthal einzubringen in der Lage sind, muß ein wesentlicher Bezug zu den naturwissenschaftlichen, ingenieur- und bauwissenschaftlichen Disziplinen im Vordergrund der Problematik stehen.
2. Die regionale Lage der drei Schwerpunkte im östlichen Teil der Bundesrepublik Deutschland, im alten „Ostfalen“, kennzeichnet einen Kulturraum, der über die Grenze hinaus nach Osten ragt. Nicht umsonst hat eine gemeinsame Kunsthistorikertagung in Magdeburg (1986) stattgefunden, deren Ergebnisse in Kürze publiziert sein werden. Hier liegt ein besonderes Feld der Klasse für Geisteswissenschaften, das auch durchaus als Aufgabe gesehen wird. Dies ist aber auch ein Bereich, der für die Landes- und Regionalplanung Handlungsspielraum bietet.

Vielen wird bekannt sein, daß Wilhelm Raabe mit seiner Novelle „**Unseres Herrgotts Kanzlei**“ **Magdeburg** ein Denkmal setzte, eine Tatsache, die u.a. in der kritischen Ausgabe des Gesamtwerkes von Raabe durch unser verstorbene Mitglied

Karl HOPPE ihre wissenschaftliche Analyse fand. Dieses Erbe sollte auch für die heutige Generation von Wissenschaftlern ein Auftrag für die Zukunft sein.

Wenn der Präsident der Hallenser Akademie, der „LEOPOLDINA“, Herr Prof. Dr. BETHGE, heute unter uns weilt, so interpretiere ich dies als ein gutes Omen für unseren Wunsch, wissenschaftlich und menschlich, ein „gut Stück“ näherrücken zu können. Im Grunde sind Braunschweig und Halle benachbarte Städte – dies sollten wir uns immer bewußt vor Augen führen.



**Laudatio**  
**zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an**  
**Prof. Dr. rer. nat. Herbert Walther**  
**Universität München / Max-Planck-Institut**  
**für Quantenoptik, München**

Von **Herbert Welling**

Herr Präsident!

Sehr geehrte Festversammlung!

Verehrter, lieber Kollege Walther!

Verehrte und liebe Frau Walther!

Die Akademie des Platon wurde um 385 v. Chr. gegründet und wirkte annähernd 1000 Jahre. Dann verging eine lange Zeit, und erst in der Renaissance knüpfte man in Europa mit Akademiegründungen wieder direkt an die Antike an. Neben anderen Gründungen gab es 1635 in Paris durch Richelieu die Gründung der Academie Francaise. Wenig später, 1652, wurde die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (später von Kaiser Leopold I. anerkannt und privilegiert) in Schweinfurt ins Leben gerufen. Die Leopoldina wechselte 1879 ihren Sitz nach Halle.

Seit 1986 sind Sie, Herr Walther, Mitglied dieser Gesellschaft. Ich nenne noch die Gründung der Akademie der Wissenschaften in Göttingen um 1751, und lassen Sie mich auch die Gründung der Bayrischen Akademie der Wissenschaften 1759 in München erwähnen, deren Mitglied Sie ebenfalls sind.

Der Freiherr von Münchhausen, Staatsmann im Kurfürstentum Hannover, hatte den großen Naturwissenschaftler und Polyhistor Haller gebeten, die Akademie in Göttingen zu gründen. In der Einweihungsrede (10. November 1751) spricht er über Nutzen, Sinn und Aufgabe wissenschaftlicher Gesellschaften. An den Universitäten dominierte in jener Zeit weitgehend die Lehre, und so war es die vornehme Aufgabe der Akademien, die Wissenschaft zu fördern und zu pflegen! Man sammelte Kräfte, indem man aus der großen Zahl der offenen Fragen jeweils für die Lösung eines ausgewählten Problems einen Preis aussetzte. Als Beispiel sei genannt, daß die Academie Francaise im Jahre 1818 auf Anregung von Laplace und Biot die Preisaufgabe stellte, doch endlich einen Beweis für den Korpuskelcharakter des Lichts zu erbringen.

Fresnel gewann den Preis für seine starken Argumente, die die Wellennatur des Lichtes stützten.

Heute sind Akademien oder wissenschaftliche Gesellschaften kaum noch in der Lage, durch Preise Problemrichtungen zu bestimmen. Sie gehen den sicheren Weg. Sie lassen die Wissenschaftler forschen und vergeben den Palmenzweig erst, wenn Außergewöhnliches erreicht ist.

Dies ist nun unsere Situation, die Situation der Braunschweigisch-Wissenschaftlichen Gesellschaft, die sich intensiv um die Einheit der Wissenschaft – gespannt von den Geisteswissenschaften über die Naturwissenschaften zu den Ingenieurwissenschaften – bemüht.

Sie, Herr Walther, haben Außergewöhnliches erreicht und geleistet. Die Braunschweigisch-Wissenschaftliche Gesellschaft verleiht an sie, Herr Walther, ihre höchste Auszeichnung, die Gauß-Medaille.

Bei derartigen Anlässen ist es Sitte, eine Laudatio zu halten. Dazu schreibt Goethe in der Einführung seiner Farbenlehre: „Vergebens bemühen wir uns, den Charakter, das Außergewöhnliche eines Menschen zu schildern. Man stelle dagegen seine Handlungen, seine Taten zusammen, und ein Bild des Charakters wird uns entgegentreten“. Sehr einfach ist meine Aufgabe: Es erübrigt sich, Sie zu loben. Ich muß ja nur Ihre Taten nennen.

Bei annähernd zweihundert wissenschaftlichen Veröffentlichungen ist es allerdings hoffnungslos, eine Aufzählung vorzunehmen. Ich möchte mich also beschränken auf ausgewählte Kapitel, vielleicht nennen wir sie Sternstunden – für Sie, aber natürlich auch für unsere Physik. Sie hatten schon sehr fleißig und mit viel Erfolg die reizvolle Gymnastik der Atome in Fein- und Hyperfeinstrukturen studiert, als ein Artefakt in der Physik seine Aufmerksamkeit auf sich zog. 1960 wurde von Maiman der Laser als außergewöhnliche monochromatische Lichtquelle entdeckt. Seine Anwendung in der Physik schien zunächst beschränkt, man sagte sogar, der Laser sei eine außergewöhnliche Erfindung, die eine Anwendung suche. Doch 1965 entdeckten und entwickelten Schäfer (damals in Marburg) und gleichzeitig Sorokin (bei IBM) den Farbstofflaser als einen potentiell über einen großen Wellenlängenbereich abstimmbaren Laser. Hier ergab sich die faszinierende Perspektive, hohe Monochromasie mit gezielt eingestellter Wellenlänge zu kombinieren, um ein außergewöhnliches Hilfsmittel für die Spektroskopie im besonderen und für die Experimentalphysik im allgemeinen zu entwickeln. Neue Baustufen des Physikgebäudes werden eingeleitet durch grundlegend neue Ideen, aber auch durch neue subtile Meßmöglichkeiten. Der Laser gab der Physik neue Impulse.

Der eben genannte durchstimmbare Laser erwies sich zunächst als oszillierendes Ungeheuer; denn er oszillierte auf mehr als hundert Eigenschwingungen. Sollte es möglich sein, dieses Ungeheuer zu zähmen, in eine einzige Eigenschwingung zu zwingen? Herr Walther ging im Januar 1970 vom Institut für Atomphysik in Hannover zu einem Großmeister in der Experimentalphysik, zu John Hall am Joint Institute for Laboratory Astrophysics in Boulder (Colorado), und arbeitete an der monochromatischen Durchstimmung des Farbstofflasers. Ich erinnere mich an die „International Quantum Electronics Conference“ in Kyoto (Japan) im Sommer 1970, als Sie gemeinsam mit Hall in einem Post-Deadline-Paper Ihre Ergebnisse bekanntgaben. Zur Einschätzung der Bedeutung mögen einige Vergleichszahlen dienen.

Während das Auflösungsvermögen klassischer Spektraluntersuchungssysteme (Prismen-Spektralapparat, Gitterspektralapparat, Fabry-Perot) bestenfalls  $10^7$  erreichte, ergab der durchstimmbare Laser damals bereits ein Auflösungsvermögen von

$10^9$ ; heute ist er sogar auf  $10^{15}$  kultiviert worden. Das übertrifft Mößbauergenaugigkeiten!

Schaut man in Ihre Veröffentlichungsliste, dann steht unter Nr. 26 schlicht: „A Tunable Dye Laser with Narrow Spectral Output“. Die darauf folgenden Veröffentlichungen zeigen, wie Sie dann mit systematischer Konsequenz in verschiedenartigen spektralen Untersuchungen die Vorteile des Lasers nutzten, seien dies Messungen über lichtmechanische Effekte, über Lebensdauermessungen, Experimente zum optischen Pumpen, Isotopentrennverfahren, Level-Crossing- oder Quanten-Beat-Experimente. Sie haben in den Siebziger Jahren in sehr kurzer Zeit erheblich dazu beigetragen, daß mit Hilfe des Lasers die experimentellen Möglichkeiten in der Atomphysik erheblich erweitert werden konnten. Damit haben Sie den Stand der Atomphysik auf eine höhere Qualitätsstufe gehoben.

Heutzutage ist Forschung sehr aufwendig geworden. Die Wissenschaft hat (auch) eine Bringschuld gegenüber der Gesellschaft. Sie kann in sehr verschiedener Weise abgetragen werden. Sie wählten Ihren besonderen Weg.

Bei zunehmender Erdbevölkerung und höheren Ansprüchen im Lebensstandard sind kritische Veränderungen in der Atmosphäre zu erwarten; sie sollten heute, um größeren Schaden zu verhüten, kontrolliert werden. Hier ergriffen Sie die Initiative.

Der Laser bietet nämlich neben Monochromasie und Durchstimmbarkeit auch hohe Leistung und hohe Richtwirkung. Dies ermöglicht in einem optischen Radarverfahren – man nennt es heute Lidarverfahren – die Kontrolle der chemischen Zusammensetzung in unsere Atmosphäre über große Bereiche. Dieses Lidarverfahren ist nicht nur schneller und unkomplizierter im Vergleich zu früher üblichen Verfahren, es mißt auch in Höhen, die Testballonen (Testsonden) nicht mehr zugänglich sind.

Ihre Messungen zur Veränderung des Ozongürtels in der Stratosphäre fanden starke Beachtung, unter anderem weil sie zum Verständnis des Ozonlochs beigetragen haben. Um die Messungen auf hohem Niveau durchzuführen, haben Sie sogar in einer dramatischen Helikopterumzugsaktion Ihren Meßplatz aus dem Labor auf den höchsten Berg der Bundesrepublik, die Zugspitze, gebracht. Das ist Spitzenforschung im Wortsinn!

Die Strahlung des Lasers kann nun nicht nur die Energiezustände der Atome ändern, sondern auch ihren Impuls, d.h. ihre kinetische Energie. Damit kann man mit dem Laser kühlen, herunter auf Millikelvin und weit darunter. Man muß nur die Photonen gegen die Laufrichtung der Atome werfen, um sie abzukühlen. Sie haben dies in jüngster Zeit mit wenigen Ionen in einer Ionenfalle durchgeführt. Die thermische Bewegung der Ionen haben Sie soweit reduziert, daß die Ionen plötzlich zum Mikrokristall gefroren. Hier ergibt sich die Möglichkeit, Phasenübergänge im submikroskopischen Bereich im Detail zu studieren.

Zwischendurch nun mal ein paar Bemerkungen zu Ihrem Lebenslauf:

- Studium der Physik in Heidelberg,
- Promotion in Heidelberg,
- Assistent an der TU Hannover,
- Habilitation in Hannover,



- Gastprofessor in Orsay,
- Visiting Fellow in JILA, Boulder, Colorado,
- Professor in Bonn,
- Ordinarius an der Uni Köln,
- Ordinarius an der Uni München,
- zusätzlich Direktor des Max-Planck-Institutes in München.

Wissenschaftler auf Wandschaft. So muß es sein. Das Bäumchen-Wechsel-Dich schafft Beweglichkeit, gibt Anregung und knüpft die für die Wissenschaft so unerläßlichen Verbindungen.

Nur kurz erwähnen möchte ich das Gravitationswellenexperiment, für das Sie in Ihrem Bereich des Max-Planck-Institutes einen Ihrer fähigsten Schüler, den Kollegen Leuchs, motiviert haben.

Fragen wir, wo in der Physik in der jüngsten Zeit dramatische und fundamentale Entwicklungen stattgefunden haben, dann würde ich natürlich gern zuerst die Quantenoptik nennen. Wir sollten aber doch festhalten, daß es die Gebiete der Elementarteilchenphysik, der Kosmologie und die Physik der komplexen Systeme sind. Der natürlich weiterhin angestrebte Fortschritt in der Elementarteilchenphysik bringt die „ach so bescheidenen“ Physiker in arge Verlegenheit. Sollen nach Hera weitere große Beschleunigermaschinen gebaut werden? Vielleicht ein Beschleunigerring im Weltall? Kann man die wahrhaft astronomischen Kosten der Gesellschaft zumuten? Es gibt da wohl doch Alternativen, die Physik auch auf andere Weise fundamental weiterzutreiben. Wir müssen bekannte Meßsysteme so verbessern, daß wir Elementarprozesse im Kosmos erfassen, die wir bisher in unserem Labor nicht realisieren können. In diese Richtung läuft das Gravitationswellenexperiment. Will man eine vernünftige meßbare Ereignisrate erzielen, dann müssen die zu verwendenden Michelson-Interferometer eine relative Längenmeßgenauigkeit von  $10^{-21}$  erreichen. Das entspricht der Forderung, die Entfernung Erde – Mond auf 1/100 Atomdurchmesser genau zu messen. Wenn wir das können, haben wir die Chance, an das letzte Quant, das Quant der sehr schwachen Gravitationswechselwirkung, das Graviton heranzukommen. Dann haben wir die Chance, gigantische Ereignisse der Kosmologie zu beobachten, wie Supernovae oder rotierende Doppelsterne.

In diesem sehr ehrgeizigen Programm gibt es Konkurrenz im Caltech, im MIT, in Glasgow, aber die Max-Planck-Gruppe um Herrn Leuchs hat die Nase vorn. Insider wissen um die Schubkraft von Herrn Walther.

Kleine physikalische Leckerbissen waren für mich Ihre Delayed-Choice-Experimente. Die Untersuchung des Lichts hat Physiker Generationen beschäftigt. Newton und Einstein – vielleicht die herausragendsten Persönlichkeiten der Physik – haben sich um das Licht bemüht. Einstein hatte bereits den Nobelpreis erhalten und sagte danach: „Ab nun werde ich mich nur noch mit dem Licht beschäftigen“. Übrigens: auf dem Grabstein des niedersächsischen Heene steht: Licht, Liebe, Leben.

Der Laser war und ist außergewöhnliches Hilfsmittel und wirkt wie ein Elixier zum besseren Verstehen des Lichtes. Auch Sie konnten dem Licht nicht widerstehen. Zwar wiederholten Sie im Prinzip nur den Youngschen Interferenzversuch, aber Sie fragten

weiter und trugen schließlich dazu bei, das Paradoxon Welle / Korpuskel verdaulicher zu machen.

Wo liegt eigentlich der Höhepunkt Ihres Wirkens in der Physik? Für mich liegt das Highlight in den wunderbaren Arbeiten um den Ein-Atom-Maser. Kann man schöner experimentieren? Man studiert die Wechselwirkung eines Atoms mit einem Resonator. Man erzeugt im kleinsten Bereich nichtklassische Strahlungsfelder. An einem einzelnen Atom testet man die Quantenelektrodynamik! Ich sage nicht mehr, denn darüber werden Sie das Besondere gleich selbst vortragen.

Wir sehen den sehr breiten Erfolg, diesen unwiderstehlichen Zeugen Ihres Wirkens. Wo liegt er begründet? Es ist nicht nur Ihre immense Schaffenskraft, es ist nicht nur Ihre Eigenart als physikalischer Triebtäter. Es ist mehr.

Im vorletzten Jahr wurde ich von Salam nach Kaschmir zu einem physikalischen Seminar mit Teilnehmern aus etwa dreißig Ländern eingeladen. Am Ende des Seminars wurden drei Teilnehmer des Seminars – nämlich Connery vom Imperial College, Richard Freeman von den Bell Laboratories und ich – aufgefordert, Ihre Einschätzung zu geben, wie man eine gute effektive Forschung realisiert. Ich bin außergewöhnlich überrascht gewesen; denn man hörte zwar nicht im spezifischen, so doch im Inhalt und vielleicht sogar im Temperament drei sehr ähnliche Vorträge. Das läßt vermuten, daß eine gute Forschung nach sehr ähnlichen Gesetzen oder in sehr ähnlichen Verhältnissen aufblüht oder lebt. Ich möchte einige der wesentlichsten Punkte nennen, die sich aufzählen lassen wie die Ingredienzen eines guten Kochrezeptes, und die zeigen, daß Sie, Herr Walther, – ob bewußt oder instinktmäßig – diese Essentials sehr genau beachten und beachtet haben. Zunächst: Gute Forschung verlangt sehr fähige Wissenschaftler. Das war im Beginn einfach. Sie haben sich einfach selbst ausgesucht und hatten damit schon einen sehr guten Mann und so die erste Garantie zum Erfolg. Sie haben stets auf handverlesene exquisite Mitarbeiter geachtet und von ihnen viel verlangt.

Forschung erfordert auch Masse, kritische Masse. Sie haben der heutigen Zeit entsprechende kritische Größen für Ihre Forschungsarbeit angestrebt und auf Kohärenz in Ihrem Bereich geachtet. Spontane Emission ist wie Geschaftehuberei, die Kohärenz bringt die interessanten Effekte. Die Forschung an den deutschen Universitäten verliert Kraft durch schädliche Inkohärenz, durch ein unkontrolliertes Primadonnenwesen. Sie erlauben sich diesen Kraftverlust nicht.

Die Chance auf wissenschaftliche Ersterfolge im neuen Terrain erhöht sich erheblich, wenn Experimentalphysiker und theoretische Physiker zusammenarbeiten. Die Physik ist doch viel zu schwer für einen Physiker allein. In Ihrem Institut wirken Experimentale und Theoretiker gemeinsam, geben sich gegenseitige Unterstützung und Anregung.

Und dann kann Forschung international nur konkurrenzfähig sein durch eine enge Anbindung an das internationale Kommunikationssystem. In Ihrem Institut geben sich regelmäßig die Großen der Wissenschaft die Hand.

Wer in dieser Weise den Nährboden für Wissenschaft bereitet, muß sich nicht wundern, wenn der Erfolg zwangsläufig auf ihn zukommt, und dieser Erfolg mündet ebenso zwangsläufig in Ehrungen:

1978: Verleihung des Max-Born-Preises und der Medaille der Physikalischen Gesellschaft und des Institute of Physics in London.

1980: Ernennung zum Ehrenforschungsprofessor der Academia Sinica der Volksrepublik China und – wie eingangs schon gesagt – Mitgliedschaften in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Naturforscher Leopoldina.

Und nun also

1989: Verleihung der Gaußmedaille der Braunschweigisch-Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Es ist wie eine Kettenreaktion:

Guter Mann – gutes Forschungskonzept – Erfolg – Ehrungen.

Das läuft weiter ab in Richtung auf ehrenvolle Ämter und Herausgebertätigkeit von Zeitschriften. Ich möchte Ihnen eine lange Aufzählung ersparen und nur dies erwähnen:

Sie waren Vorstandsmitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft von 1979–1982,

Mitglied des Senats- und Planungsausschusses der Deutschen Forschungsgemeinschaft,

Mitglied des Senatsplanungsausschusses der Max-Planck Gesellschaft, usw.

Sicherlich zehn Zeitschriften prägen Sie durch Ihre Handschrift. In der modernen Sprache sind sie ein Physik-Multi! Entwickelt man selbst einmal Aktivität, so wird man sofort an die Geschichte vom Igel und dem Hasen erinnert: Sie sind schon da!

Ihr steiler Aufstieg in wundersame Höhen wäre nicht möglich gewesen ohne Wegweiser, ohne Trainer, bei denen Sie die Steigtechnik erlernten und ohne ein wohlwollendes hilfreiches Gemüt im Hintergrund, das Ihnen die Steine aus dem Wege räumte und Lasten abnahm. Ich denke an Ihren Lehrer Herrn Hans Kopfermann, der ein unübersehbarer, vorausschauender physikalischer Wegweiser war, an Andreas Steudel, der Ihnen die Technik des soliden und sauberen physikalischen Arbeitens beibrachte und – last not least – an Ihre Frau, die in bewundernswerter Weise Ihren Weg räumte, Lasten abnahm. Frau Walther, ich persönlich und die physikalische Gemeinde weiß um Ihren Beitrag. Ich möchte im Namen vieler den Dank betont herzlich an Sie richten.

Lieber Herr Walther, ich wollte keine Laudatio, keine Lobrede, halten, sondern eine Rede der Fakten. Ich mußte und wollte mich beschränken. Dabei läßt sich Ihre vieldimensionale Aktivität nicht vollständig beschreiben.

Ich denke an Bernard Shaw, diesen feinsinnigen Kenner und Verehrer Wagnerscher Musik, der bei Gelegenheit sagte: „Herr Wagner, Ihre Musik ist viel besser, als sie klingt“. Auch Sie sind ein besserer Physiker, als es die Musik meiner Arie anklingen ließ.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit

## **Laser-Experimente mit einzelnen Atomen und der Test der Quantenphysik**

Von **Herbert Walther**

Sehr geehrter Herr Präsident,  
verehrte Festversammlung!

Ihnen Herr Präsident und der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft möchte ich für die Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille meinen herzlichsten Dank aussprechen; ich erachte es als eine große Ehre, daß ich diese Auszeichnung erhalten habe und sehe die Verleihung gleichzeitig als Verpflichtung für meine künftige Arbeit an. Herrn Kollegen Welling danke ich für die freundliche Laudatio.

In meinem Vortrag möchte ich auf einige Probleme eingehen, die meine Mitarbeiter und mich in den letzten Jahren beschäftigt haben; es handelt sich dabei um Experimente zu den Grundlagen der Quantenmechanik.

Die Aussagen der Quantenmechanik sind Wahrscheinlichkeitsaussagen, d.h. wir bekommen von der Theorie eine Vorhersage mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Ereignis eintritt. Verfolgen wir viele Atome, dann wissen wir, welcher Bruchteil einem bestimmten Phänomen unterworfen wird oder welcher Bruchteil dem Ablauf eines Versuchs folgt. Die Aussagen beschreiben das gemittelte Verhalten eines Ensembles von Atomen, das Ensemble-Mittel. Beobachten wir im Gegensatz dazu ein Einzelatom und verfolgen wir das Verhalten dieses Teilchens, so können wir nicht sagen, ob dieses Teilchen im nächsten Moment einer Vorhersage folgen wird, wir können nur die Wahrscheinlichkeit angeben, mit der ein bestimmtes Ereignis eintritt. Um zum Vergleich mit der Aussage der Quantenmechanik zu kommen, müssen wir das gleiche Atom sehr oft beobachten und dann das mittlere Verhalten in der Zeit, das sogenannte Zeit-Mittel bestimmen. Wir haben somit einerseits das Ensemble-Mittel bei der Beobachtung vieler Teilchen und andererseits das Zeit-Mittel bei der Beobachtung eines Teilchens nacheinander. Beide Größen werden unter bestimmten Voraussetzungen als gleich angesehen, dies ist die Aussage des Ergoden Theorems, das in der statistischen Mechanik aufgestellt wurde und das auch auf die Quantenmechanik übertragen werden kann.

Nach der bisherigen Diskussion scheint es zunächst naheliegend zu sein, daß man nicht notwendigerweise das Verhalten individueller Teilchen verfolgen muß; zur Überprüfung der Quantentheorie genügt es, viele Atome d.h. ein Ensemble zu betrachten. Das letztere bleibt jedoch nicht mehr richtig, wenn eine zusätzliche Wechselwirkung der Teilung untereinander möglich ist. Die Anwesenheit vieler Teilchen ändert durch eine gegenseitige Beeinflussung das Ergebnis. In diesem Falle ist die Anwendbarkeit des Ergoden Theorems eingeschränkt und man ist unbedingt auf die Beobachtung einzelner Teilchen angewiesen.

Die Untersuchung einzelner Teilchen und Ereignisse ist in der Physik nichts Neues. In der Hochenergiephysik sind es in vielen Fällen eine geringe Zahl von Ereignissen, auf denen die Überprüfung von Gesetzen basiert. So erhielten Rubia und van der Meer den Nobelpreis für die Beobachtung von nur wenigen intermediären Bosonen  $W$  und  $Z_0$ . Wir sollten uns jedoch klar machen, daß in diesem Gebiet der Physik die Beobachtung individueller Ereignisse kein sehr großes Problem darstellt, wenn man vom technischen Aufwand bei der Erzeugung der Teilchen absieht, weil dazu überdimensionale Beschleuniger benötigt werden. Der Nachweis der Teilchen ist deshalb so einfach, weil sie eine sehr hohe Energie besitzen. Sie hinterlassen in den Nachweisgeräten intensive Spuren. Dabei verlieren sie etwas Energie, diese ist jedoch zu vernachlässigen, da die Teilchen sehr viel davon mitbringen.

Versuchen wir Einzel-Atom Ereignisse bei niederen Energien, z.B. in einem Bereich nachzuweisen, der noch wesentlich tiefer liegt als die thermische Energie, dies sind rund 10 Größenordnungen zu den Experimenten der Hochenergiephysik, so ist dies wesentlich schwieriger. Erst vor wenigen Jahren ist es gelungen, Einzelatomereignisse in diesem Energiebereich zu beobachten; im wesentlichen ist dies der Erfolg der Methoden der Laserspektroskopie.

Hier sollen einige dieser Experimente diskutiert werden. Alle Experimente, die ich herausgreife, behandeln die Wechselwirkung von Strahlung mit Atomen. Sie geben neue Einblicke in die Absorptions- und Emissionsvorgänge von elektromagnetischer Strahlung durch Atome. Diese Phänomene haben in der Physik schon immer eine große Rolle gespielt; Beispiele sind die Entwicklung der Spektralanalyse durch Kirchhoff und Bunsen im letzten Jahrhundert, die Arbeiten von Planck zur Schwarzkörperstrahlung, die Entwicklung des Bohr'schen Atommodells oder in der nahen Vergangenheit die Entwicklung der Quantenelektrodynamik als Folge der Abweichungen, die bei Präzisionsmessungen am Wasserstoff-Atom gefunden worden sind.

Die erste Gruppe von Experimenten, die ich diskutieren möchte, behandeln den Ein-Atom-Maser. In einem Maser (Maser ist das Akronym für **M**icrowave **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) wird Mikrowellen-Strahlung verstärkt und auch erzeugt. Er besteht aus einem Resonator, in den angeregte Atome oder Moleküle geschickt werden. Aufgrund der stimulierten Emission werden die Atome veranlaßt, ihre Energie phasengerecht abzugeben. Auf diese Weise ist es möglich, einen Oszillator mit sehr großer Frequenzreinheit und sehr großer Frequenzstabilität zu erhalten.

Der Maser, der erstmals im Jahre 1957 durch Gordon, Zeiger und Townes mit Ammoniak-Molekülen realisiert worden ist, wurde später zum Laser weiterentwickelt, der ebenfalls auf der stimulierten Strahlungserzeugung beruht, jedoch Licht anstelle von Mikrowellen erzeugt. Die Laser sind, wie ich bereits erwähnt habe, eine wesentliche Voraussetzung für die Experimente, die ich hier diskutieren werde.

### Atome in einem Resonator

Die experimentelle Realisierung des Masers und später auch des Lasers hat das Interesse an exakten Modellen geweckt, die die Wechselwirkung zwischen elektro-

magnetischer Strahlung und Atomen beschreiben. Das elementarste Problem ist dabei der Austausch von Energie zwischen einem idealisierten Zwei-Zustands-Atom (bei einem solchen Atom wird zur Vereinfachung neben dem Grundzustand nur ein angeregter Zustand angenommen) und einer Eigenschwingung eines Resonatorfeldes. Diese Fragestellung war jedoch in den 60er Jahren rein akademisch, da bei den Experimenten immer eine große Zahl von Atomen verwendet werden mußte und man nicht daran denken konnte, mit einzelnen Atomen zu experimentieren. Es wurde nämlich die stimulierte Emission vieler Atome benötigt, um ein elektromagnetisches Feld hinreichender Stärke zu erhalten, das gut nachweisbar war.

Diese Situation änderte sich grundlegend, als es gelang, mit frequenzveränderlichen Lasersystemen sehr hoch angeregte Rydberg-Atome selektiv zu besetzen. Diese Atome entstehen dadurch, daß ein Elektron in eine Elektronenbahn übergeht, die sehr weit weg vom Atomkern ist; die Energie dieser Zustände liegt sehr nahe an der Ionisationsgrenze des Atoms. Abb. 1 enthält einige Eigenschaften dieser hoch angeregten

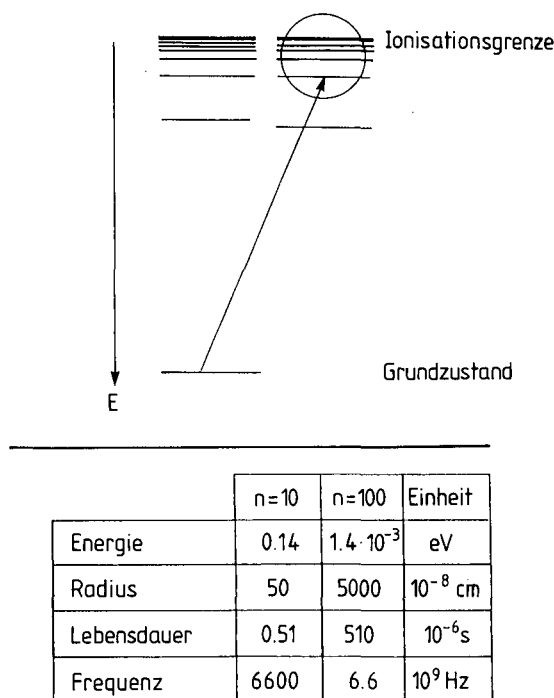


Abb. 1:

Eigenschaften der Rydberg-Atome. Durch Laserstrahlung wird ein Valenz-Elektron des Atoms in eine sehr hochangeregte Bahn nahe der Ionisationsgrenze angeregt. Die Elektronenbahn wird durch die Hauptquantenzahl  $n$  charakterisiert. Die Tabelle gibt Bindungsenergie, Radius, Lebensdauer und Umlauffrequenz des angeregten Elektrons wieder.

Atome, die auch Rydberg-Atome genannt werden. Sie haben einen Radius, der 1000–10000 mal größer ist als der eines Atoms im Grundzustand. Die Atome sind in ihrer Größe mit Makromolekülen vergleichbar. Die Besonderheit dieser Rydberg-Atome ist, daß sie mit einem äußeren elektromagnetischen Feld extrem stark wechselwirken, so reicht z.B. das Feld eines einzelnen Photons, eines einzelnen Energiequants aus, um mit der Wahrscheinlichkeit eins, Übergänge zwischen benachbarten Zuständen zu induzieren. Diese hohe Empfindlichkeit gegenüber Mikrowellen ist darauf zurückzuführen, daß wir uns die hochangeregten Atome als fast klassische Gebilde vorstellen können. Je höher die Quantenzahl der Bahn wird, umso klassischer wird das Atom. Das Bild der Planetenbahn des Elektrons um den Atomkern wird umso zutreffender je höher das Elektron angeregt ist; eine Folge davon ist z.B., daß die Umlauffrequenz des Elektrons identisch wird mit der Übergangsfrequenz zu einem benachbarten Zustand. Wir können uns deshalb das Atom als einen großen, mit der Umlauffrequenz des Elektrons schwingenden Dipol vorstellen, der optimal mit der Mikrowelle in Wechselwirkung kommt.

Eine weitere interessante Eigenschaft der hochangeregten Atome ist ihre lange Lebensdauer in bezug auf spontane Übergänge zu tieferen Niveaus, dies ist der Fall, obwohl die Elektronen sehr hoch angeregt sind. Der Grund dafür ist, daß die Übergänge zu benachbarten Zuständen im Mikrowellenbereich liegen, typische Frequenzen sind einige  $10^9$  Hz, die zugehörigen Wellenlängen betragen einige Zentimeter. In diesem Bereich spielen spontane Übergänge zwischen benachbarten Zuständen praktisch keine Rolle mehr. Sie sind jedoch auch nicht null, was man an der Tatsache sehen kann, daß Übergänge zwischen benachbarten hochangeregten Zuständen des Wasserstoff-Atoms im Weltraum beobachtet werden können. Die Radioastronomen können diese Linien nachweisen und erhalten hieraus Aufschlüsse über bestimmte Regionen im Weltraum. Die Rydberg-Atome entstehen im Weltraum dadurch, daß Elektronen von Protonen (d.h. Wasserstoffkernen) eingefangen werden, langsam gehen dann die Elektronen aus hochangeregten Zuständen in tieferliegende über und senden dabei Mikrowellenstrahlung aus.

Beim Experimentieren im Labor ist neben der Laseranregung auch die Güte des Vakuums entscheidend. Da die Rydberg-Atome so groß sind, werden sie sehr leicht durch Stöße zerstört, es ist deshalb notwendig, die Stöße mit dem Restgas in der Apparatur weitgehend auszuschalten.

Für unser Experiment lassen wir in einer Vakuum-Apparatur Rydberg-Atome durch einen Mikrowellenresonator fliegen, der in Resonanz auf einen Übergang zu einem benachbarten Zustand abgestimmt ist. Ein Schema der Anordnung wird in Abb. 2 gezeigt. Die Größe dieses Resonators entspricht etwa der Wellenlänge des Überganges, die 1,5 cm beträgt. Im Experiment wird dieser Resonator auf eine sehr tiefe Temperatur gebracht, damit die gesamte Strahlungsenergie, die im Resonator aufgrund der Planckschen oder Schwarzkörper-Strahlung vorhanden ist, ausgefroren wird. Wir haben es deshalb mit einem strahlungsfreien Resonator zu tun. Die Temperaturen, bei denen dieser Fall eintritt, betragen etwa 0,1–0,5 K, also nicht mehr sehr weit vom absoluten Nullpunkt entfernt.

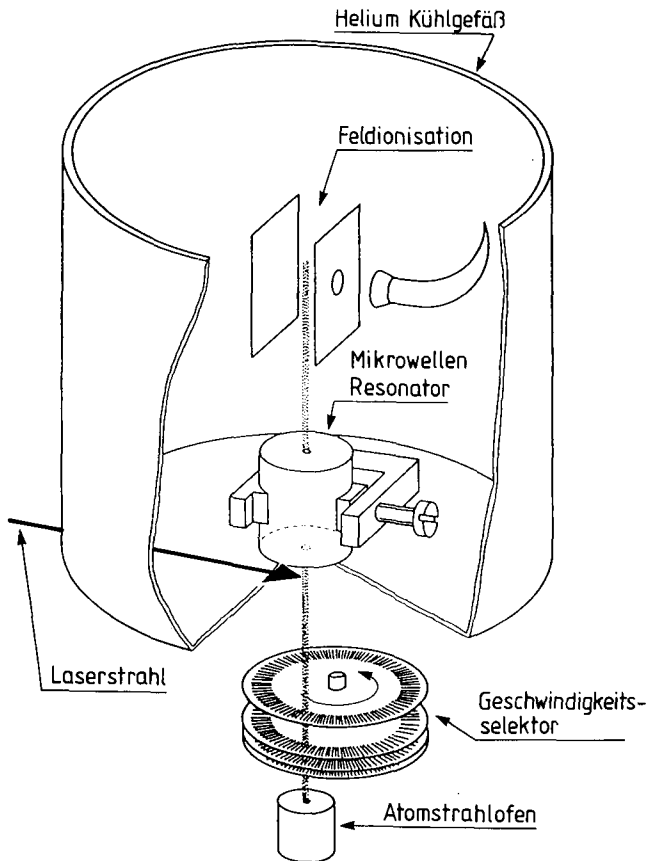


Abb. 2:

*Schema des Ein-Atom-Masers. Die gesamte Anordnung befindet sich in einer Vakuumkammer. Die Atome werden in einem kleinen Ofen verdampft, passieren einen Geschwindigkeitsselektor, der nur Atome mit einer bestimmten Geschwindigkeit passieren läßt und werden dann durch Laserlicht in einen hochliegenden Zustand angeregt, bevor sie in den Resonator gelangen. Der Nachweis der angeregten Atome erfolgt in einem elektrischen Feld, wo das nur schwach gebundene Valenz-Elektron abgetrennt wird; ein Sekundärelektronenvervielfacher verstärkt dann das Signal, so daß jedes Elektron nachgewiesen werden kann.*

Im Sinne der Quantenphysik ist dieser Resonator als nicht ganz leer zu betrachten. Sie sagt nämlich voraus, daß im Resonator noch ein Feld vorhanden ist, das sogenannte Vakuumfeld. Es besteht aus Fluktuationen, aus Energieschwankungen. Dieses Vakuumfeld ist nicht nur in einem Resonator vorhanden, sondern auch im freien Raum; es ist verantwortlich für die spontanen Übergänge eines Atoms. Die Existenz dieses Feldes können wir somit indirekt über die spontanen Übergänge nachweisen. Außer den



spontanen Übergängen gibt es noch weitere physikalische Phänomene, die auf das Vakuumfeld hinweisen, wie z.B. die Lamb Shift; diese Erscheinungen wollen wir jedoch hier nicht diskutieren.

Das besondere an unserem Resonator ist, daß er aus supraleitendem Material hergestellt ist. Er hat deshalb keine Verluste und kann Strahlungsenergie akkumulieren und speichern. Ferner wird die Energiedichte der Vakuumfluktuationen bei der Resonanzfrequenz sehr stark überhöht. Je höher die Güte des Resonators, d.h. je kleiner die Verluste, um so größer wird auch das elektrische Feld, das durch diese Energiefluktuationen im Resonator hervorgerufen wird.

Kommt ein Rydberg-Atom in diesen Resonator, so bemerkt es das überhöhte Vakuumfeld; die spontanen Übergänge werden deshalb gegenüber dem freien Raum beschleunigt. Im freien Raum, d.h. ohne Resonator hat das Atom eine Lebensdauer in der Größenordnung von Millisekunden; im Resonator zerfällt es innerhalb von  $10^{-9}$  Sekunden. Diese Verkürzung der Lebensdauer des Atoms kann experimentell nachgewiesen werden. Es sollte hier auch erwähnt werden, daß ein Resonator, der nicht auf die Resonanzfrequenz des Atoms abgestimmt ist, die Lebensdauer des Atoms verlängert, da dann der spontane Zerfall verhindert wird. In einem solchen Resonator werden nämlich die Vakuumfluktuationen bei der Resonanzfrequenz unterdrückt. Wenn das Atom in den Resonator eintritt, spürt es an der Feldstärke der Vakuumfluktuationen ob der Resonator in Resonanz ist oder nicht und zerfällt deshalb schneller oder langsamer.

Ist die Güte des Resonators sehr hoch, wie dies bei unseren Experimenten der Fall ist, dann kann das spontan emittierte Photon durch das Atom wieder reabsorbiert werden; es kommt daher, während das Atom durch den Resonator fliegt, zum mehrmaligen Austausch eines Photons zwischen Resonatorfeld und Atom. Es ist ganz klar, daß diese Experimente so durchgeführt werden müssen, daß sich stets nur ein Atom im Resonator befindet, sonst könnten sich nämlich die Felder der einzelnen Atome gegenseitig beeinflussen.

Der Energieaustausch zwischen Atom und Resonator ist eine Funktion der Zeit; es hängt deshalb von der gesamten Wechselwirkungszeit ab, ob ein Atom, nachdem es den Resonator verlassen hat, dort Energie zurückläßt oder nicht. Verläßt es den Resonator im unteren Energie-Zustand, so wurde Energie deponiert; wenn es im oberen Zustand herauskommt, dann bleibt keine Energie zurück. Es ist deshalb notwendig, daß in unseren Experimenten die Geschwindigkeit der Atome kontrolliert wird. Wir tun dies mit einem Geschwindigkeitsselektor für den Atomstrahl. Dieser besteht aus schnell rotierenden Lochscheiben, die hintereinander angeordnet sind. Die Löcher in aufeinanderfolgenden Scheiben sind gegeneinander verdreht angeordnet, so daß nur Atome mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit die Öffnungen passieren können.

Die Energie kann im Resonator für eine gewisse Zeit gespeichert werden, da die Wände aus supraleitendem Material bestehen und deshalb geringe Verluste haben. Passieren deshalb mehrere Atome innerhalb der mittleren Abklingzeit der Energie den Resonator, so baut sich ein Gleichgewichtszustand des Feldes auf. Die mittlere Speicherzeit eines Photons im Resonator beträgt 200 ms und die Durchflußzeit eines

Atome durch den Resonator etwa  $30\ \mu\text{s}$ , d.h. die Energie von rund 7000 Atomen läßt sich maximal speichern. Dieses Mikrowellenfeld hat interessante neue Eigenschaften, die sich erheblich von denen eines normalen Masers unterscheiden.

Zunächst zur Frage wie kann das Feld untersucht werden, ohne die Verhältnisse im Resonator zu ändern. Die einzige Information, die wir über das Feld bekommen können, erhalten wir über die Atome, die den Resonator verlassen. Man kann aus der Geschwindigkeit des Energieaustausches zwischen Atom und Resonatorfeld Rückschlüsse auf die Anzahl der gespeicherten Photonen ziehen. Wir können auch die Statistik der Photonen im Resonator bestimmen. Die Photonenzahl ist nämlich keine Konstante, sie schwankt nach bestimmten Gesetzen. Was man zunächst erwartet, ist eine Poisson-Verteilung, die dadurch charakterisiert ist, daß das Schwankungsquadrat der Photonenzahl gleich ist der mittleren Photonenzahl. Dies ist die Verteilung, die bei allen kohärenten Strahlungsquellen, wie z.B. beim Laser, Maser oder auch bei der Strahlung eines Rundfunksenders zu erwarten ist. Der Ein-Atom-Maser zeigt jedoch wesentlich geringere Schwankungen. Diese Statistik ist nur für ein Quantenfeld erlaubt. Das Beste, was für ein klassisches Feld erhalten werden kann, ist die Poisson-Verteilung – das Quantenfeld erlaubt darüber hinaus noch eine wesentlich geringere Schwankung. Man kann verstehen, warum im Falle des Ein-Atom-Masers dieses wesentlich günstigere Ergebnis erhalten wird; dies soll im folgenden diskutiert werden.

Die Wechselwirkungszeit der Atome im Resonator ist durch die Verwendung eines Geschwindigkeitsselektors festgelegt. Ist diese Geschwindigkeit so eingestellt, daß die Atome den Resonator vorwiegend im angeregten Zustand verlassen, so deponieren sie keine Energie, sie nehmen jedoch auch keine Energie aus dem Resonator heraus. Trotzdem findet eine Wechselwirkung statt. Sie tauschen in der Regel mehrmals Photonen mit dem Resonatorfeld aus; im ganzen gesehen ist die Energiebilanz jedoch ausgeglichen. Genau genommen müssen die Atome etwas Energie im Resonator deponieren, damit die Verluste des Resonators kompensiert werden, dies ist wegen der geringen Verluste jedoch ein kleiner Betrag. Die Atome sind so in der Lage, über den Energieaustausch die Photonenzahl im Resonator zu messen, ohne die Photonenzahl jedoch zu ändern. Dies ist bei der Untersuchung von Strahlungsfeldern normalerweise nicht der Fall. Wenn ein Photon nachgewiesen wird, dann wird es beim Meßprozeß vernichtet, d.h. das Strahlungsfeld wird durch den Meßprozeß verändert. Dies ist im Falle des Ein-Atom-Masers nicht so: man nimmt eine Messung der Photonenzahl vor, ohne die Photonenzahl zu ändern. Dies ist der Grund für die ungewöhnlich kleinen Schwankungserscheinungen.

Dieses Phänomen hat einige interessante Aspekte. Da das nichtklassische Licht geringere Schwankungserscheinungen hat als das einer kohärenten Quelle, ist es für eine Nachrichtenübertragung besonders attraktiv. Wenn es gelingen würde, nichtklassisches Licht für eine Nachrichtenübermittlung zu verwenden, dann könnte man mit geringerer Leistung eine Übermittlung von Signalen über größere Entfernungen vornehmen, was besonders für die Satellitenkommunikation interessant wäre.

Ein anderer wichtiger Gesichtspunkt ist, daß die nichtklassische Strahlung im Ein-Atom-Maser keine fest definierte Phase hat. In der Quantentheorie der Strahlung gibt

es eine Unschärferelation für Amplitude und Phase eines Feldes. Diese Unschärferelation ist analog derjenigen, die Heisenberg für Ort und Impuls eines Teilchens aufgestellt hat. Betrachten wir den Spezialfall der kohärenten Strahlung, so ist bei ihr die Unschärfe gleichmäßig auf Phase und Amplitude verteilt. Bei der Strahlung in unserem Maser sind die Amplitudenschwankungen klein und die Phasenschwankungen entsprechend groß; das Produkt aus beiden bleibt jedoch konstant, wie es durch die Unschärferelation gefordert wird.

Mit den Methoden der nichtlinearen Optik ist es in den letzten Jahren gelungen, auch den anderen Grenzfall der nichtklassischen Strahlung mit besonders stabiler Phase und größeren Amplitudenschwankungen zu erzeugen. Es wird hierbei der parametrische Strahlungserzeugungsprozeß ausgenutzt. Die eingestrahlte Laserstrahlung wird in ihrer Frequenz halbiert; die neu erzeugte Strahlung ist deshalb in der Phase stabiler, da durch den nichtlinearen Prozeß eine sehr starke Ankopplung an die Phase des Pumptlichtes erfolgt. Eine Anwendung dieser phasenstabilen Strahlung ist z.B. die Präzisions-Abstandsmessung, wie sie beim Nachweis von Gravitationswellen wesentlich ist. Heute früh hat bei dem kleinen Symposium Herr Leuchs über diese Problematik gesprochen.

Lassen Sie mich nun noch über ein anderes Phänomen sprechen, bei dem ebenfalls nichtklassisches Licht mit geringer Amplitudenschwankung erzeugt wird und das uns etwas besser verstehen läßt, was nichtklassische Strahlung bedeutet. Es handelt sich um die Fluoreszenz eines einzelnen Ions, das in einer Ionenfalle festgehalten wird. Bei diesem Experiment wird Laser-Strahlung im ultravioletten Bereich für die Anregung der Ionen verwendet.

### **Gefangene Ionen**

In den letzten Jahren haben elektrodynamische Ionenfallen durch die Pionierarbeit von Paul, Dehmelt und Toschek eine große Bedeutung für die Präzisionsspektroskopie erlangt. Mit ihrer Hilfe lassen sich mehrere und sogar auch einzelne Ionen speichern und als isolierte Teilchen spektroskopisch untersuchen. Mit Hilfe von frequenzveränderlicher Laserstrahlung, die in Farbstofflasern erzeugt wird, können die Ionen resonant angeregt werden. Diese Anregung kann so intensiv erfolgen, daß das Ion nach einem Zerfall sofort wieder angeregt wird, von einem einzelnen Ion können somit etwa  $10^8$  Photonen pro Sekunde erhalten werden; dies sind genügend viele, um ein einzelnes Ion sichtbar zu machen. Der große Vorteil für die Spektroskopie liegt dabei darin, daß die Teilchen ohne Stöße untereinander und mit einer Wand beobachtet werden können. Die elektrischen Felder, die in den Fallen zur Speicherung der Ionen gebraucht werden, sind dabei so klein, daß sie keine nennenswerte Störung der Energiezustände bewirken. Ein weiterer Vorteil ist, daß die Teilchen in einem sehr kleinen Volumen festgehalten werden können; ihre Aufenthaltsdauer im Wechselwirkungsraum mit dem Licht ist deshalb viel größer als die Lebensdauer der betrachteten Übergänge, so daß die Linienbreite nicht zusätzlich vergrößert wird, wie dies z.B. bei Untersuchungen an frei beweglichen Teilchen der Fall ist. Hinzu kommt noch, daß es möglich ist, die eingefangenen

Teilchen durch Photonenrückstoß im Laserlicht zu kühlen, so daß ihre kinetische Energie einer Temperatur im Millikelvin-Bereich entspricht.

Die Elektrodenanordnung einer elektrodynamischen Falle, nach dem Erfinder auch Paul-Falle genannt, wird in Abb. 3 gezeigt. Die Anordnung ist rotationssymmetrisch um die vertikale Mittelachse. Zwischen Ringelektrode und den beiden Polkappen, letztere sind elektrisch miteinander verbunden, wird eine Hochfrequenzspannung (Frequenz ungefähr 10 MHz) angelegt. Die Ionen werden im Innern der Falle erzeugt,

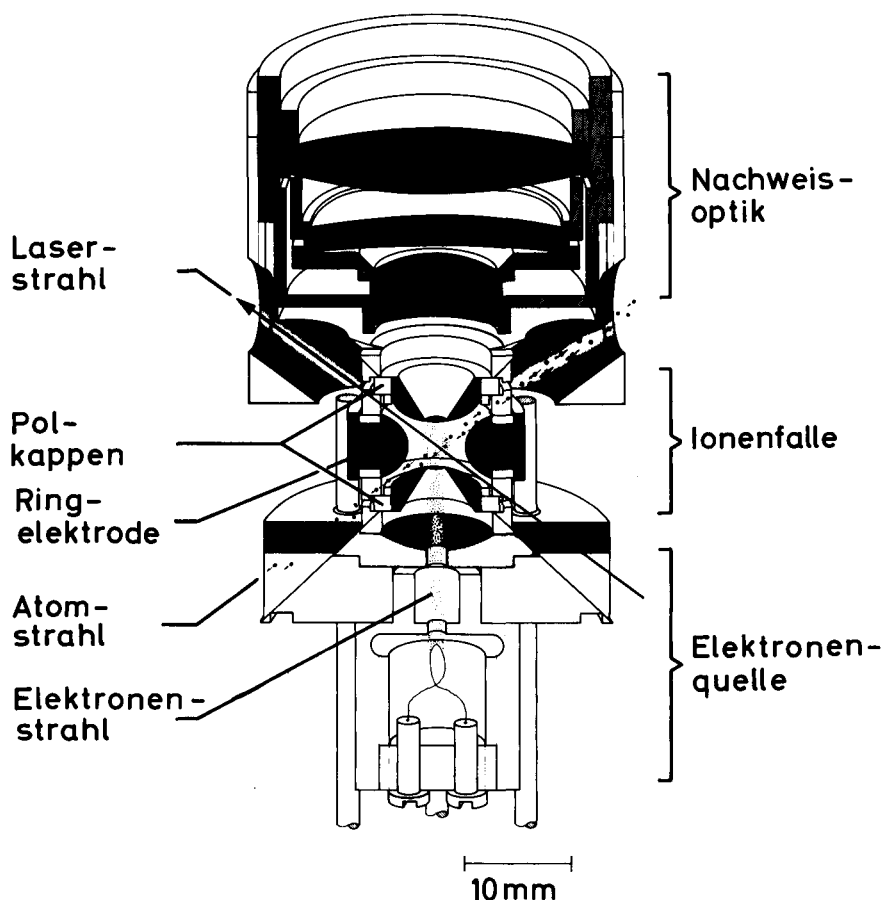


Abb. 3:

*Schema einer elektrodynamischen Ionenfalle (Paul-Falle). Die Elektroden der Falle bestehen aus einem Ring und zwei Kappen, die Rotationshyperboloiden entsprechen. Die Kappen sind elektrisch miteinander verbunden; zwischen ihnen und dem Ring wird eine Gleich- und Wechselspannung angelegt. Durch die periodische Änderung der Fallenspannung kann ein dreidimensionales harmonisches Potential für die Ionen erzeugt werden.*

weil sie nur dann leicht eingefangen werden können. Hierzu dient ein Atomstrahl und eine Elektronenkanone, die abgeschaltet werden, wenn die Falle geladen ist. Die Elektronen treten durch ein Netz in der unteren Polkappe in den Fallenraum ein, wo sie den Atomstrahl ionisieren. Der Laserstrahl zur Anregung der Ionen wird von rechts unten zwischen Polkappe und Ringelektrode eingeschossen. Durch ein weiteres Netz in der oberen Polkappe betrachtet man schließlich die Fluoreszenzstrahlung der Ionen. In der Bildebene des Linsensystems befindet sich ein Photomultiplier oder die Kathode eines hochempfindlichen Abbildesystems, mit dem der Ort eines Ions oder auch die Verteilung von mehreren Ionen aufgenommen werden kann.

In Abb. 4 ist das Anregungsspektrum eines einzelnen  $^{24}\text{Mg}^+$ -Ions gezeigt. Bei Laserfrequenzen, die unterhalb der Resonanzfrequenz liegen, wird das Ion gekühlt. In diesem Bereich ist es aufgrund des Dopplereffektes in Resonanz mit dem Laserlicht, wenn es sich entgegen der Einstrahlungsrichtung bewegt; seine Geschwindigkeit wird dann als Folge der Anregung vermindert, da durch die absorbierten Photonen Impuls übertragen wird. Ist die Laserfrequenz oberhalb der Resonanz eingestellt, wird das Ion auf-

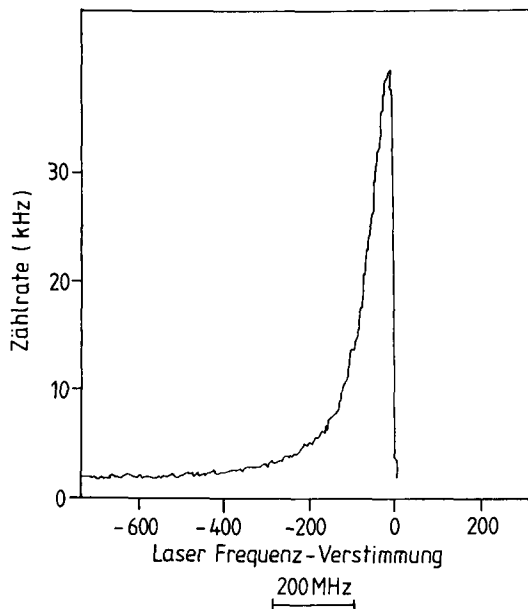


Abb. 4:

*Resonanzsignal eines einzelnen gespeicherten  $\text{Mg}^{24}$ -Ions. Zur Aufnahme des Signals wird die Frequenz des Lasers von niederen zu höheren Werten durchgestimmt. Wird die Resonanzfrequenz erreicht, so schlägt die Kühlung in eine Heizung um, und das Ion verläßt die Falle, deshalb fällt das Signal auf null ab. Die Falle muß mit einem anderen Ion gefüllt werden, bevor die Messung wiederholt werden kann.*

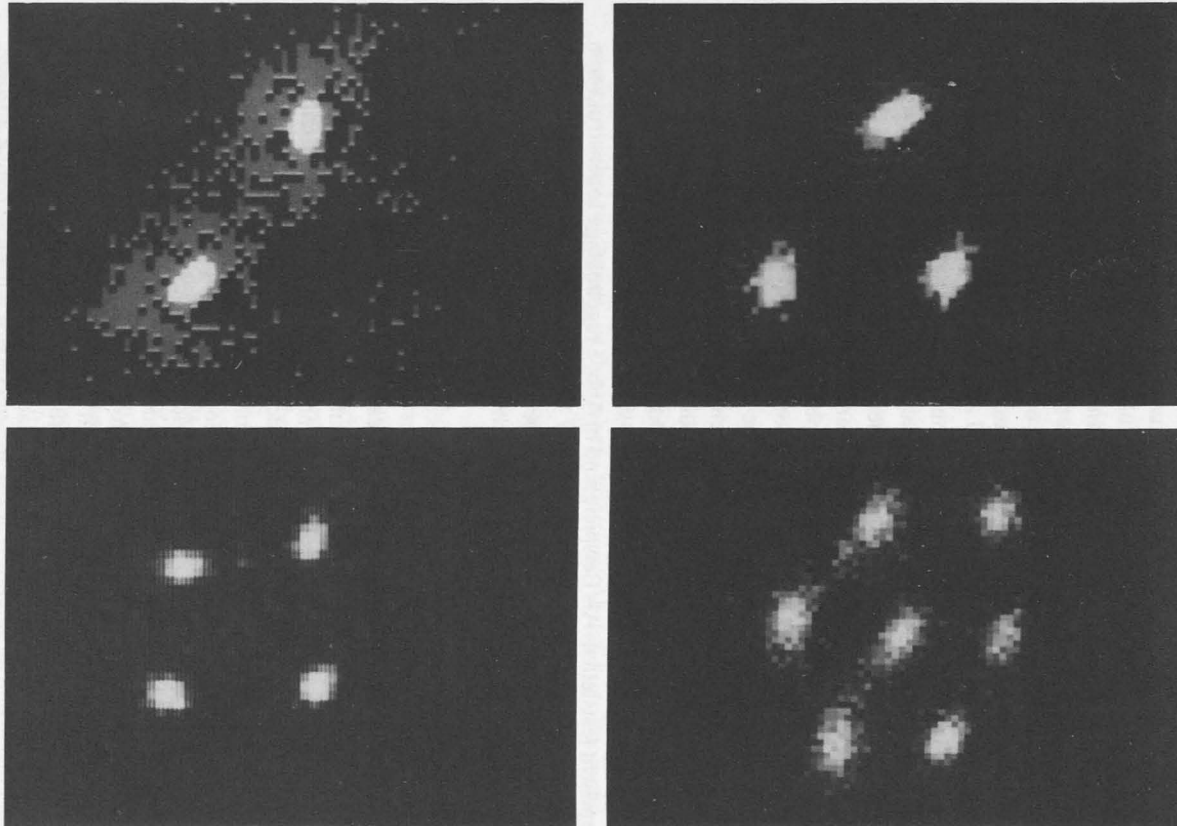


Abb. 5:

*Geordnete Ionenstrukturen in einer Paul-Falle. Es handelt sich um Ionenkonfigurationen, die sich in einer Ebene senkrecht zur Symmetrieachse der Falle anordnen, wenn Laserkühlung wirksam ist. Ohne Laserkühlung wird eine Wolke beobachtet, d.h. die Lichtemission der Ionen ist dann über einen größeren Bereich gleichmäßig verteilt.*

geheizt und aus dem Fokus des Laserstrahls und manchmal auch aus der Falle herausgetrieben – das Fluoreszenzsignal verschwindet.

Mit Hilfe der Laserkühlung können die Ionen auf eine Temperatur im Millikelvin-Bereich gebracht werden, ihre Bewegungsamplitude wird dann kleiner als die Lichtwellenlänge, damit verschwindet die Dopplerbreite und die Ionenresonanz wird nur durch die natürliche Linienbreite des Übergangs bestimmt. Verwendet man deshalb Ionen mit langlebigen angeregten Zuständen, so können extrem kleine Linienbreiten erzielt werden. Die Ionenfallen bieten die Möglichkeit, ein Frequenznormal mit einer Genauigkeit im Bereich von  $10^{18}$  zu bauen; dies sind etwa vier Größenordnungen mehr als bei den zur Zeit verwendeten Frequenzstandards.

Die Kühlung eines Ions oder weniger Ionen mit Hilfe von Laserlicht ist sehr effektiv. Es kann sogar erreicht werden, daß die Ionen völlig ihre kinetische Energie verlieren. In diesem Falle ordnen sich die Ionen in einer Art Kristallstruktur in der Falle an. Wir erhalten einen Phasenübergang mit einer geringen Anzahl von Teilchen. Die Anordnung der Ionen ergibt sich aus dem Fallenpotential und der Coulomb-Abstoßung zwischen den Ionen. Der Übergang aus der ungeordneten Struktur erfolgt sehr schnell, d.h. mit scharfer Frequenzabhängigkeit und ohne Zwischenstufen.

Die geordnete Ionenstruktur kann mit Hilfe eines Abbildesystems mit Einzelphotonen-Empfindlichkeit nachgewiesen werden. Zu diesem Zweck wurde die Kathode des Abbildesystems in der Bildebene oberhalb des Mikroskop-Objektivs angeordnet. Da die Ionen durch den Laser angeregt werden, läßt sich ihre Position über das reemittierte Fluoreszenzlicht feststellen. Als Beispiele sind in Abb. 5 regelmäßige Ionenstrukturen, die mit  $\text{Mg}^{24}$ -Ionen beobachtet wurden, gezeigt.

Lassen Sie uns nun jedoch ein einzelnes Ion betrachten, das in der Falle gespeichert ist. Wir regen dieses Ion mit resonantem Laserlicht an und beobachten die Fluoreszenz und zwar messen wir die Photonenkorrelation.

### **Nichtklassisches Licht eines einzelnen Ions**

Die Messung der Photonenkorrelation geht auf das klassische Experiment von Hanbury-Brown und Twiss zurück. In diesem Experiment wird die zeitliche Korrelation von Photonen dadurch analysiert, daß das zu untersuchende Licht in zwei Teilstrahlen aufgespaltet wird und die Koinzidenzrate der Signale zweier Detektoren als Funktion einer relativen zeitlichen Verzögerung der beiden Strahlen gemessen wird. Fällt Licht auf diese Anordnung, so verschwindet die Koinzidenzrate, wenn die zeitliche Verzögerung zwischen den beiden Strahlen größer wird als die sogenannte Kohärenzlänge des Lichtes. Betrachten wir das Experiment im Photonenbild, so können wir das Ergebnis so interpretieren, daß wir die Wahrscheinlichkeit bestimmen, daß auf ein Photon ein zweites nach der entsprechenden Verzögerung folgt. Für eine klassische Lichtquelle, wie z.B. für eine Glühbirne oder eine Gasentladungslampe, sieht das Ergebnis des Experimentes so aus, daß die Wahrscheinlichkeit, ein weiteres Photon nachzuweisen, maximal ist für kurze Verzögerungszeiten. Mit zunehmender Verzögerung nimmt die Koinzidenz ab und erreicht schließlich einen konstanten Wert. Wie bereits erwähnt,

hängt diese Abnahme mit der Kohärenzlänge der Lichtquelle zusammen. Verwendet man anstelle einer Gasentladungslampe Laserlicht, so bleibt die Koinzidenzrate unabhängig von der Verzögerungszeit konstant. Dies liegt daran, daß das Licht eines Lasers eine sehr große Kohärenzlänge hat.

Eine klassische Lichtquelle sendet nämlich die Photonen unregelmäßig aus, und durch die Schwankung der Abstände zwischen den Photonen kommt eine zusätzliche Schwankung in der Intensität zustande. Die Amplitudenschwankungen sind geringer bei Laserlicht, wo man wiederum eine Poissonstatistik findet, d.h. das mittlere Quadrat der Schwankungen ist wiederum proportional zur mittleren Intensität.

Was erhalten wir jedoch für das Licht, das vom einzelnen gespeicherten Ion emittiert wird. Dazu müssen wir den Prozeß der Resonanzfluoreszenz betrachten. Das Ion wird durch das eingestrahlte Laserlicht in einen höheren Zustand angeregt; nach der mittleren Lebensdauer dieses Zustandes emittiert das Ion ein Photon und kehrt wieder in den Grundzustand zurück und wird danach sofort wieder angeregt usw. Das heißt, daß die Photonen in einem Zeitabstand emittiert werden, der etwa der mittleren Lebensdauer des angeregten Zustandes entspricht. Die Zeiten zwischen den Photonen sind praktisch konstant. Das Hanbury-Brown und Twiss Experiment ergibt bei verschwindender Verzögerungszeit die Wahrscheinlichkeit null, für wachsende Zeiten steigt die Wahrscheinlichkeit an, also genau entgegengesetzt wie beim Licht einer Gasentladungslampe und nimmt dann für große Zeiten einen konstanten Wert an.

Das wesentliche Charakteristikum, was wir für nichtklassisches Licht dem Experiment entnehmen können, ist der nahezu konstante Abstand der Photonen. Das Licht zeigt im Gegensatz zum Licht einer Gasentladungslampe eine geringere Schwankung, da die Photonen in nahezu gleichmäßiger Folge emittiert werden und die Schwankungen nicht durch ungleiche Zwischenräume zwischen den Photonen noch vergrößert werden.

In Abb. 6 ist gezeigt, wie die Photonenfolgen für thermisches Licht (Glühlampe), Laserlicht und für ein einzelnes gespeichertes Ion vorzustellen haben. Rechts neben der Photonenfolge sind die Intensitätsschwankungen gezeigt, die sich bei Registrierung des Signalstromes mit einer empfindlichen Photozelle ergeben. Der nahezu konstante Signalstrom für das Licht eines einzelnen gespeicherten Ions ist auf die nahezu gleichmäßige Photonenfolge zurückzuführen. An dieser Stelle sollte noch erwähnt werden, daß die Phase des nichtklassischen Lichts wiederum sehr großen Schwankungen unterworfen ist, wie es die quantenphysikalische Unschärferelation für Amplitude und Phase für eine elektromagnetische Welle verlangt.

Auch im Zusammenhang mit der Photonenstatistik eines Einzelions möchte ich auf die Problematik der Messung nichtklassischer Strahlung zurückkommen: erfolgt die Messung nicht mit einer Photonennachweiswahrscheinlichkeit eins, d.h. wird durch den Detektor nicht jedes Photon nachgewiesen oder kommen andere Verluste bei der Messung der Strahlung vor, so erhält man keine gleichmäßige Photonenfolge mehr, die Statistik nähert sich dann wieder einer Poisson-Verteilung an und entspricht somit wiederum der kohärenten Strahlung. Die nichtklassische Strahlung und das Experimentieren mit nichtklassischer Strahlung ist somit eine sehr kritische Angelegenheit, da der



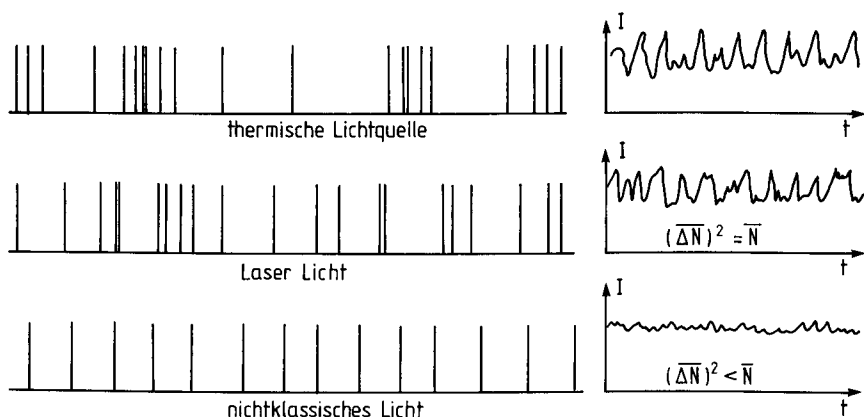


Abb. 6:

Photonenstatistik verschiedener Lichtquellen. Gezeigt wird die Folge der Photonen, wie sie von einem hochempfindlichen Detektor gemessen wird. Im unteren Teil ist das Licht eines einzelnen gespeicherten Ions gezeigt. (Die Größe  $\bar{N}$  steht für die mittlere Photonenzahl und  $(\Delta \bar{N})^2$  für das mittlere Schwankungsquadrat der Photonenzahl.)

Meßprozeß selbst das Strahlungsfeld verändert und somit das Meßergebnis beeinflussen kann. Es ist deshalb sehr wesentlich, die jeweiligen Messungen genau zu analysieren und zu überprüfen.

### Schlußbemerkung

Mit diesem Beitrag haben wir gezeigt, daß die modernen Laser-Experimentiermethoden es erlauben, Experimente mit einzelnen Atomen und einzelnen Photonen durchzuführen. Wir erhalten dadurch neue Einblicke in die Quantenphysik, dies auch dadurch, daß viele Gedankenexperimente, die immer wieder in der Vergangenheit diskutiert worden sind, jetzt tatsächlich durchgeführt werden können. Insbesondere erhalten wir auch die Möglichkeit, Zeitmittelwerte zu messen und mit Ensemblemittelwerten zu vergleichen. Die Experimente ergeben bisher in allen Fällen eine sehr gute Übereinstimmung mit der Quantenphysik, so daß wir im Moment keine Veranlassung haben, die Quantenvorstellung in Zweifel zu ziehen. Neue Einsichten ergeben sich jedoch durch das Experimentieren mit nichtklassischer Strahlung, wodurch auch neue Information über den quantenmechanischen Meßprozeß erhalten werden kann. Die Ein-Atom-Maser Experimente ermöglichen einen unmittelbaren Zugang zum Vakuumfeld und dessen Beeinflussung. Es ist sicher, daß die Experimente hierzu noch weitere interessante Resultate ergeben werden.

### Literatur

#### Zusammenfassende Artikel:

- [1] Der Ein-Atom-Maser, die Quantenelektrodynamik in einem Resonator und die Erzeugung nichtklassischer Strahlungsfelder, H. Walther, Phys. Blätter **43**, 33–39 (1987).
- [2] Rydberg Atoms: A Testing Ground for Quantum Electrodynamics, P. Filipowicz, P. Meystre, G. Rempe, H. Walther, Optica Acta **32**, 1105–1123 (1985).
- [3] Ionenkristalle und Phasenübergänge in einer Ionenfalle, F. Diedrich, E. Peik, J.M. Chen, W. Quint, H. Walther, Phys. Blätter **44**, 12–15 (1988).
- [4] The One-Atom Maser – A Test System for Simple Quantum Electrodynamical Effects, H. Walther in Atomic Physics X, herausgegeben von H. Narumi, I. Shimanura, 33–350 (1987), Elsevier Science Publishers.
- [5] Single Atom Oscillators, H. Walther, Europhysics News **19**, 105–108 (1988).

#### Literatur zu Einzelproblemen:

- [6] The One-Atom Maser, D. Meschede, H. Walther, G. Müller, Phys. Rev. Lett. **54**, 551–554 (1985).
- [7] Quantum Electrodynamical Effects in Finite Space, P. Dobiasch, H. Walther, Proceedings of Symposium „Alfred Kastler“, Ann. Phys. Fr. **10**, 825–843 (1985).
- [8] Observation of Quantum Collapse and Revival in a One-Atom Maser, G. Rempe, H. Walther, N. Klein, Phys. Rev. Lett. **58**, 353–356 (1987).
- [9] Non-classical Radiation of a Single Stored Ion, F. Diedrich, H. Walther, Phys. Rev. Lett. **58**, 203–206 (1987).
- [10] Connection between Micro- and Macroscopic Maser Theory, L.A. Lugiato, M.O. Scully, H. Walther, Phys. Rev. A **36**, 740–743 (1987).
- [11] Observation of a Phase Transition of Laser-Cooled Stored Ions, F. Diedrich, E. Peik, J.M. Chen, W. Quint, H. Walther, Phys. Rev. Lett. **59**, 2931–2934 (1987).
- [12] State Reduction and  $|n\rangle$ -State Preparation in a High Q Micromaser, J. Krause, M.O. Scully, H. Walther, Phys. Rev. A **36**, 4547–4550 (1987).
- [13] Phase Transitions of Stored Laser-Cooled Ions, R. Blümel, J.M. Chen, E. Peik, W. Quint, W. Schleich, Y.R. Shen, H. Walther, Nature **334**, 309–313 (1988).
- [14] Very Low Temperature Behaviour of a Micromaser, P. Meystre, G. Rempe, H. Walther, Optics Lett. **13**, 1078–1080 (1988).

# DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

## VERLEIHT DIE CARL-FRIEDRICH-GAUSS-MEDAILLE

HERRN PROFESSOR DR. RER. NAT.


**HERBERT WALTHER**

IN WÜRDIGUNG SEINER HERVORRAGENDEN  
WISSENSCHAFTLICHEN LEISTUNGEN  
AUF DEM GEBIET DER QUANTENOPTIK

Professor Dr. Herbert Walther hat mit Hilfe der Laserphysik eine Renaissance der Atomphysik herbeigeführt und hat durch ideenreiche Arbeiten wesentlich zum Verständnis fundamentaler Eigenschaften des Lichtes und der Materie sowie ihrer Wechselwirkung beigetragen.

Braunschweig, den 30. April 1989



  
Präsident  
der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft

**Walther, Herbert**, Dr. rer. nat., Dipl. Phys., Professor für Experimentalphysik an der Universität München und Direktor des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching, Egenhoferstr. 7a, 8000 München 60

- geboren: 19. 1. 1935 in Ludwigshafen/Rhein
- 1955 Abitur, Staatliches Neusprachliches Gymnasium, Ludwigshafen/Rhein
- 1955–1960 Studium der Physik, Mathematik und Chemie in Heidelberg
- 1960 Diplom-Physiker, Universität Heidelberg
- 1962 Dr. rer. nat., Universität Heidelberg
- 1962–1968 Wissenschaftlicher Assistent, TH Hannover
- 1968 Habilitation, TH Hannover
- 1969 Gastprofessor am Laboratoire Aimé Cotton, Faculté des Sciences d'Orsay, Orsay, Frankreich
- 1970 Visiting Fellow am Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder, Colorado, USA
- 1970 Oberassistent, Universität Bonn
- 1971 Wissenschaftlicher Rat und Professor, Universität Bonn
- 1971 o. Professor, Universität Bonn
- seit 1975 o. Professor, Universität München
- 1976 Direktor der Projektgruppe für Laserforschung der Max-Planck-Gesellschaft, Garching
- 1981 Direktor des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik, Garching
- Publikationen: Über 200 wissenschaftliche Veröffentlichungen aus den Gebieten der hochauflösenden Spektroskopie, Laserspektroskopie und Laseranwendung
- Herausgabe: Laser Spectroscopy of Atoms and Molecules, Topics in Applied Physics Vol. 2 (1976)  
High-Power Lasers and Applications, Springer Series in Optical Sciences Vol. 9 (1978)  
Laser Spectroscopy IV, Springer-Series in Optical Sciences Vol. 21 (1979)  
Advances in Laser Spectroscopy, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, San Miniato (1983)  
Photons and Quantum Fluctuations, Malvern Physics Series
- Mitglied: Ehren-Forschungs-Professor der Academia Sinica, Volksrepublik China  
Bayerische Akademie der Wissenschaften  
Optical Society of America  
Akademie der Naturforscher Leopoldina  
Ungarische Physikalische Gesellschaft (Roland Eötvös Physical Society)
- Ehrungen:
- 1987 Max-Born-Preis und Medaille der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und des Institute of Physics, London
- 1988 Einstein-Preis der Society of Quantum Optics and Quantum Electronics, USA
- 1989 Carl-Friedrich-Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft



## Schlußwort des Generalsekretärs

Sehr verehrte Festversammlung!

Erlauben Sie mir zum Abschluß dieser Feierlichen Jahresversammlung zwei, drei Bemerkungen, die – wie es naheliegt – durch die Thematik des heutigen Tages, die Laserphysik und ihre Perspektiven, angeregt sind.

In der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft ist uns einer jener so wichtigen Orte gegeben, wo das weit gestreute, in eine häufig genug verwirrende Vielheit vereinzelter Positionen gleichsam zersplitterte Wissen, das sich allein an einer entsprechenden Vielheit der Sachen und Gegenstände zu orientieren scheint, wo das nur noch Viele auch der Fächer und Disziplinen unserer Universitäten und Forschungsinstitute als das Eine und Ganze von Natur und Mensch gedacht werden kann und soll. Und dies vor allem deshalb, weil der die Einzel-Phänomene fassende, zu Modellen und Begriffen verdichtende und damit ein ebenso vorstellbares wie dem Nachdenken überlassenes Bild des Ganzen konstruierende Geist seinerseits nicht anders als eins und ganz zu denken und zu wissen ist.

Auch heute haben wir dies in den faszinierenden, ja staunenmachenden Vorträgen, schon des Morgens, vor allem aber in dem Festvortrag unseres verehrten Preisträgers, Herrn Prof. Herbert Walthers, ein weiteres Mal bestätigt finden dürfen: Was wäre die kritische Analyse eines Problems oder auch schon Phänomens – sei es der Natur-, sei es der Geisteswissenschaften – was wäre die Bestimmung seiner konstitutiven Elemente ohne das aufbauende, diese Elemente zum Ganzen fügende und so erst das adäquate Bild einer Sache zeugende, gleichwohl ganz individuelle Vor-Stellen und Nach-Denken des einzelnen Forschers. Die Einheit und produktive Kraft seines Geistes wahrzunehmen ist ähnlich stimulierend wie der durch ihn eröffnete Blick auf die Natur der Dinge, die zugleich seine ist.

Da ja heute vom Licht, seinen „Leiden und Wirkungen“ so manches Erhellende zu hören war, sei es entgegen einer jüngeren Übereinkunft gestattet, dennoch Goethe mit seiner Einleitung zur Farbenlehre zu zitieren und mit ihm an die alte Schule zu erinnern, „welche (wie er sagt) mit so großer Bedeutsamkeit immer wiederholte, nur vom Gleichen werde Gleiches erkannt“: „Wär nicht das Auge sonnenhaft, Wie könnten wir das Licht erblicken?“

Herr Prof. Walther, wir danken sehr für Ihren – wie Sie sehen in mehr als einer Hinsicht ›lichtvollen‹ – Vortrag, der Stadt Braunschweig für die festlichen Räume hier und im Schloß Richmond, nicht zuletzt dem Kanzlerfelder Bläseroktett, das mit seiner Musik die Einheit der Sinne und des Geistes auf das Schönste hat hörbar werden lassen.

## **Veröffentlichungen**

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

„Jahrbuch 1988 der BWG“

„Abhandlungen der BWG“, Bd. XL (1988)

„Der Magdeburger Dom, ottonische Gründung und staufischer Neubau“, Leipzig 1989, Bericht über ein wissenschaftliches Symposium in Magdeburg vom 7.10. bis 11.10.1986, herausgegeben von Ernst Ullmann als Band 5 der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte bei der BWG.

## **Geschäftliche Mitteilungen**

Das Plenum trat am 8.12.1989 zu seiner jährlichen Hauptversammlung zusammen, nahm die Jahresberichte des Präsidenten und des Generalsekretärs entgegen und beschloß den Haushaltsentwurf 1991. Ebenfalls am 8.12.1989 fand eine Wahlsitzung des Plenums statt, in der ein ordentliches Mitglied gewählt wurde (s. Personalia). In der Sitzung am 8.12.1989 hat zudem das Plenum dem Verwaltungsausschuß Entlastung für das Geschäftsjahr 1988 erteilt. Am 22.9.1989 fand eine Sitzung des Verwaltungsausschusses statt. Das am 8.12.1989 tagende Konzil beschloß, die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille des Jahres 1990 Herrn Prof. Dr. phil. Raymond Klibansky, Oxford, anzutragen. Der Genannte hat die Ehrung angenommen. Die Auszeichnung wird ihm im Rahmen der Feierlichen Jahresversammlung am 15.6.1990 überreicht werden. 1989 zählte die BWG 119 ordentliche und 65 korrespondierende Mitglieder.

## **Satzung und Geschäftsordnungen**

Die Satzung und die Geschäftsordnung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft sowie die Druckschriftenordnung sind im Jahrbuch 1986, Seite 257 ff., veröffentlicht.

## Werner Pöls

\* 15.3.1926      † 21.2.1989

Vorgetragen in der Plenarversammlung am 13. Oktober 1989

Von **Joseph König**

Am 21. Februar dieses Jahres haben wir unser Mitglied, den Historiker Professor Dr. phil. Werner Pöls durch den Tod verloren. Mir ist der Auftrag geworden, einen Nachruf auf ihn zu halten. Lassen Sie mich beginnen mit einem Überblick auf seinen von Zielstrebigkeit und Beharrlichkeit sowie engagierter Ausübung der ihm anvertrauten Ämter gekennzeichneten Lebensweg.

Werner Pöls wurde am 15. März 1926 in Manker, Kreis Ruppın (Mark Brandenburg), als Sohn des Tischlermeisters Alfred Pöls und seiner Ehefrau Luise, geb. Kröcher, geboren. Er besuchte von 1932 bis 1944 die Volks- bzw. Grundschule in Manker und das Gymnasium in Köslın (Pommern), an dem er das Abitur bestand. Von 1944 bis 1945 leistete er Wehrdienst mit Fronteinsatz und dreijähriger Gefangenschaft in Frankreich. Von 1948 bis 1952 war er als Lehrer in Neuruppın tätig, bis ihn politische Gründe zur Flucht nach Westberlin nötigten. Vom Wintersemester 1952/53 bis zum Sommersemester 1957 studierte er in Berlin und Marburg bis zum Staatsexamen. 1958 promovierte er an der Freien Universität Berlin zum Dr. phil. in den Fächern Geschichte und Germanistik. Das Thema seiner Dissertation lautete: „Sozialistenfrage und Revolutionsfurcht im Zusammenhang mit den Staatsstreichplänen Bismarcks“. Doktorvater war Professor Dr. Walter Bußmann. Von 1955 bis 1957 war Pöls wissenschaftliche Hilfskraft an der Freien Universität Berlin. Von 1957 bis 1966 nahm er ebendort die Aufgaben eines wissenschaftlichen Assistenten und Akademischen Rats bzw. Oberrats wahr. Als langjähriger Assistent am Friedrich-Meinecke-Institut hatte er Anteil am Aufbau einer modernen Verwaltungsstruktur, die dem Massenandrang der Studenten gewachsen war. Von 1966 bis 1969 versah er an der Universität München die Dienste eines Oberkonservators. 1969 wurde Pöls an die Technische Universität Braunschweig berufen, an der er als ordentlicher Professor und Institutsdirektor bis zum Sommersemester 1982 wirkte. Die philosophische und sozialwissenschaftliche Fakultät wurde damals ausgebaut.

Pöls amtierte von 1970 bis 1972 als Dekan dieser Fakultät; zur gleichen Zeit als Mitglied des Senats und als Mitglied des Verwaltungsausschusses.

Der bedeutende Schwerpunkt der Forschungs- und Lehrtätigkeit von Professor Pöls war die Bismarckzeit. Es war eine Sternstunde für ihn, als er auf dem Dachboden des Marstalls in Friedrichsruh Tausende von Briefen Otto von Bismarcks entdeckte. Das von ihm aufgebaute Bismarckarchiv ist eines seiner Vermächtnisse für die Wissenschaft. Er selbst hat dessen Quellen in zahlreichen Aufsätzen ausgewertet. Zu seinem 60. Geburtstag erschien eine Sammlung von 30 Veröffentlichungen unter dem Titel



„Studien zur Bismarckzeit“. Das Erscheinen eines vollständigen Verzeichnisses wird von seinem Kollegen Prof. Klaus Erich Pollmann in die Wege geleitet. Aus der Vielfalt der Veröffentlichungen sei noch eine weitere genannt, die große Sammlung „Deutsche Sozialgeschichte 1815–1870“, die zum Standardwerk wurde.

Neben den Früchten seiner wissenschaftlichen Tätigkeit verdankt ihm die TU Braunschweig auch in hochschulpolitischer Hinsicht viel. Im Vorwort zu der erwähnten Sozialgeschichte beschreibt Pöls den Begriff „sozial“ als „Eingebundensein in die [den Menschen] angehende und umgebende Welt, sein Betroffensein von dem ihn einbeziehenden Geschehen“. Dies prägte sein Engagement in den Gremien der Universität zu einer Zeit, als diese im Ausbau begriffen war, und darüber hinaus im Deutschen Hochschulverband, dessen Präsident und Vizepräsident, seit 1980 Ehrenpräsident er war. Als Abgeordneter im Niedersächsischen Landtag (1974–82) und Vorsitzender des Wissenschaftsausschusses hatte er maßgeblichen Anteil an der Entstehung des Niedersächsischen Hochschulgesetzes. Durch die Verleihung des Bundesverdienstkreuzes erfuhren diese Tätigkeiten 1982 eine besondere Würdigung. Weitere Zeichen seines wissenschaftlichen Engagements sind seine Mitgliedschaft in der Historischen Kommission zu Berlin seit 1964, sein Einsatz für die Förderung der Forschung als Kurator der Stiftung Volkswagenwerk, Vortragsreisen nach New York und Washington sowie Südafrika, und die ehrenvolle Ernennung zum Honorary Fellow des St. Anthony College, Oxford. Am 8.1.1982 wurde er zum ordentlichen Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft in der Klasse der Geisteswissenschaften gewählt. Am 15.10.82 hielt er hier einen Vortrag über „Das Friedrichruher Kanzlerarchiv und seine Bedeutung für die Bismarck-Forschung“.

Das private Leben von Professor Pöls war vom frühen Tod seiner Frau Eva, geb. di Michiel, im Jahre 1977 überschattet. Die folgenden Jahre waren geprägt von rührender Sorge für seine vier heranwachsenden Kinder bis hin zum Kochen und der Organisation des alltäglichen Lebens. Die Last der Arbeit zehrte an seinen Kräften, bis ihn zuletzt ein Schlaganfall an den Rollstuhl fesselte. Am 21. Juni 1982 hielt er im überfüllten Hörsaal seine Abschiedsvorlesung und trat in den vorzeitigen Ruhestand. Doch auch danach blieb er dem Historischen Seminar eng verbunden. Sein Tod am 21. Februar 1989 bedeutete für alle, die ihm im privaten oder wissenschaftlichen Leben nahestanden, einen schmerzlichen Verlust. Universität und Hochschulverband würdigten seinen selbstlosen Einsatz, die fürsorgliche Betreuung seiner Studenten und seine wissenschaftliche Arbeit, die ihm hohes Ansehen in der Fachwelt eingetragen hat.

Lassen Sie mich schließen mit den Worten, mit denen der Präsident des Deutschen Hochschulverbandes, Prof. Hartmut Schiedermaier, seine Trauerrede anlässlich der Beisetzung beendete: „Werner Pöls hat sich um die deutsche Universität historische Verdienste erworben.“

**Todesfälle**

- 21.2.1989     Werner Pöls (geb. 15.3.1926)  
Prof. Dr. phil., ordentliches Mitglied der BWG seit 1982
- 11.3.1989     Hans Reuther (geb. 21.11.1920)  
Prof. Dr.-Ing. Dr. phil., ordentliches Mitglied der BWG seit 1982
- 30.4.1989     Gottfried Köthe (geb. 25.12.1905)  
Prof. Dr. phil., Dr. h.c., Dr. rer. nat. h.c. mult.,  
korrespondierendes Mitglied der BWG seit 1974
- 22.10.1989     Alf Pflüger (geb. 17.7.1912)  
Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., ordentliches Mitglied der BWG seit 1957
- 27.10.1989     Georg Schnadt (geb. 6.11.1898)  
Prof. Dr. phil., korrespondierendes Mitglied der BWG seit 1951

## Zuwahlen

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 14. 4. 1989 gewählt

in die Klasse für Ingenieurwissenschaften

**Haefner**, Frank, Dr. rer. nat., Professor für Werkstoffkunde und Herstellungsverfahren, Direktor des gleichnamigen Instituts der TU Braunschweig, Julius-Leber-Straße 46, 3300 Braunschweig

geboren: 6. 1. 1927 in Königsberg i. Pr.

1944/46 Reifevermerk der Hermann-v. Salza-Schule in Braunschweig i. Ostpr./

Übergangskursus für Kriegsteilnehmer in Northeim

1947–1953 Studium der Physik, physikalischen Chemie und Metallkunde in Göttingen

1953 Dr. rer. nat., Universität Göttingen

1953–1957 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistent, Universität Göttingen

1958 Research Assistant am N.C. State College, Raleigh, N.C. (USA) und am Argonne National Laboratory, Chicago, Ill. (USA)

1959–1966 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart

1963 Habilitation für Metallkunde, TH Stuttgart

1966–1973 Abteilungsleiter am Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart

1970 apl. Professor, TH Stuttgart

1973 o. Professor, TU Braunschweig

Publikationen: Etwa 100 Veröffentlichungen aus dem Gebiet der Werkstoffwissenschaften, u.a. Verfahren zur Texturbestimmung, in: Texturen in Forschung und Praxis, Proceedings of the International Symposium Clausthal-Zellerfeld 1968, Berlin/Heidelberg/New York 1969, S. 1–23

Herausgabe: Recrystallization of Metallic Materials (Buch, englisch und russisch)

Mitglied: Deutsche Gesellschaft für Metallkunde

1989 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

in die Klasse für Bauwissenschaften

**Führböter**, Alfred, Dr.-Ing., Professor für Hydromechanik und Küstenwasserbau am Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig, Joseph-Fraunhofer-Straße 35, 3300 Braunschweig

geboren: 26. 3. 1931 in Hamburg

1949 Abitur an der Winkelmann-Schule in Stendal

1951–1960 Studium des Bauingenieurwesens in Berlin und Hannover

1960 Dipl.-Ing. TU Hannover

1961 Dr.-Ing. TU Hannover

1960–1965 Wissenschaftlicher Assistent TU Hannover

1965–1967 Oberingenieur TU Hannover

1966 Habilitation TU Hannover

1967–1971 Universitätsdozent TU Hannover

- 1971 o. Professor und Direktor des Leichtweiß-Instituts der TU Braunschweig
- Publikationen:** Über 80 Fachveröffentlichungen, speziell über Zweiphasenströmungen (Rohrtransport von Manganknollen, Sand, Kohle und Erz), Wellenbelastungen von Küstenschutzbauwerken, Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten, Elektronische Meßtechnik, u. a.  
Der Druckschlag durch Brecher auf Deichböschungen, in: Mitt. Franzius-Institut der TU Hannover, Heft 28 (1966).  
Über zeitliche Änderungen der Wahrscheinlichkeit von Extremsturmfluten an der Deutschen Nordseeküste, in: Mitt. Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig, Heft 51 (1976)  
(zus. mit Dette) Zur Entwicklung der Düne Helgoland, in: Die Küste, Heft 43 (1986)
- Herausgabe:** Mitherausgeber der Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der TU Braunschweig
- Mitglied:** Hafenbautechnische Gesellschaft (HTG) Hamburg  
Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau (DGEG) Essen  
International Association for Hydraulic Research (IAHR) Amsterdam  
Internationaler Ständiger Verband für Schiffahrtskongresse, Brüssel
- 1989 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

**Pelzer, Hans, Dr.-Ing.,** Professor für Allgemeine Vermessungskunde und Direktor des Geodätischen Instituts der Universität Hannover, Am Leinewehr 25, 3000 Hannover 81.

- geboren:** 20. 1. 1936 in Velbert
- 1951–1954 Vermessungstechniker-Lehre, Stadtvermessungsamt Velbert
- 1955–1957 Staatliche Ingenieurschule für Bauwesen, Essen
- 1958–1962 Studium der Geodäsie in Bonn
- 1962 Dipl.-Ing., Universität Bonn
- 1962–1971 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistent, Kustos, Akad. Rat, TU Braunschweig
- 1969 Dr.-Ing., TU Braunschweig
- 1971 Habilitation, TU Braunschweig
- 1971–1977 Abteilungsvorsteher und Professor für Geodätische Meßtechnik, Universität Hannover
- 1977 o. Professor, Universität Hannover
- Publikationen:** Über 60 wissenschaftliche Veröffentlichungen, u. a.  
Die Genauigkeit elektromagnetisch gemessener Streckennetze, insbesondere im Flachland und über küstennahen Gewässern, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 136 (1969, Dissertation)  
Zur Analyse geodätischer Deformationsmessungen, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 164 (1971, Habilitation)  
Untersuchung zur geodätischen Bestimmung von Rutschungserscheinungen und vertikalen Krustenbewegungen, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtungen Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 133 (1984)

- Herausgabe:** Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung (1980)  
 Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II (1985)  
 gemeinsam mit W. Niemeier: Precise Levelling, Contributions  
 to the Workshop on Precise Levelling (1983)  
 gemeinsam mit W. Niemeier: Determination of Heights and Height Changes,  
 Contributions to the Symposium on Height Determination and Recent Vertical  
 Crustal Movements in Western Europe (1987)  
 Ingenieurvermessung, -Deformationsvermessungen,  
 -Massenberechnungen, Ergebnisse des Arbeitskreises 6 des Deutschen  
 Vereins für Vermessungswesen (1987)
- Mitglied:** Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der  
 Wissenschaften  
 Niedersächsische Akademie der Geowissenschaften  
 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
- 1989

Zum korrespondierenden Mitglied wurde am 14. 4. 1989 gewählt  
 in die Klasse für Geisteswissenschaften

**Hubala**, Erich, Dr. phil., em. Professor für Kunstgeschichte an der Universität Würzburg,  
 Liebigstraße 15, 8000 München 22

Zum ordentlichen Mitglied wurde am 8. 12. 1989 gewählt  
 in die Klasse für Geisteswissenschaften

**Nitz**, Hans-Jürgen, Dr. phil., Professor für Kulturgeographie und Direktor des geographischen  
 Instituts der Universität Göttingen, Krambach 31, 3406 Bovenden

- geboren:** 20. 8. 1929 in Westerstede
- 1949 Abitur, Marien-Gymnasium Jever
- 1949–1951 Pädagogische Hochschule Oldenburg
- 1951–1954 Lehrer an der Volksschule Friederikensiel
- 1954–1958 Studium der Geographie in Hamburg und Heidelberg
- 1958 Dr. phil., Universität Heidelberg
- 1958–1959 Vertretung einer wissenschaftlichen Assistentenstelle, Universität Heidelberg
- 1959–1961 Pädagogischer Assistent, Pädagogische Hochschule Lüneburg
- 1961–1967 Wissenschaftlicher Assistent, Universität Heidelberg
- 1967 Habilitation für Geographie, Universität Heidelberg
- 1968/69 o. Professor, Universität Göttingen
- Publikationen:** Über 90 wissenschaftliche Veröffentlichungen, u. a.  
 Die ländlichen Siedlungsformen des Odenwaldes (1962, Dissertation)  
 Formen der Landwirtschaft und ihre räumliche Ordnung in der oberen  
 Gangesebene (1971)  
 Settlement Structures and Settlement Systems of the Frankish Central State in  
 Carolingian and Ottonian Times, in: Anglo-Saxon Settlements (Oxford 1987)

Siedlungsstrukturen der königlichen und adeligen Grundherrschaft der Karolingerzeit — der Beitrag der historisch-genetischen Siedlungsgeographie, in: Strukturen der Grundherrschaft im frühen Mittelalter (Göttingen 1989)

- Herausgabe:** Historisch-genetische Siedlungsforschung, Genese und Typen ländlicher Siedlungen und Flurformen (Wege der Forschung, Bd. CCC, 1974)  
gemeinsam mit I. Leister: Siedlungsformen der früh- und hochmittelalterlichen Binnenkolonisation, Probleme der genetischen Siedlungsforschung Bd. I (1974)  
Landerschließung und Kulturlandschaftswandel an den Siedlungsgrenzen der Erde, Göttinger Geographische Abhandlungen 66 (1976)  
The medieval and earlymodern rural landscape of Europe under the impact of the commercial economy (Göttingen 1987)
- Mitglied:** Historische Kommission für Niedersachsen  
Archäologische Kommission für Niedersachsen  
Arbeitskreis für genetische Siedlungsforschung in Mitteleuropa  
Permanent European Conference for the Study of the Rural Landscape
- 1989 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

## Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr. phil., Dr. phil. nat. h. c., Dr.-Ing. E. h., Honorarprofessor der Universität Mainz und Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil. dr., Dr. phil. h. c., Dr.-Eng. h. c., Dr. Techn. h. c., em. o. Professor für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg/Schweden.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Theoretische Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller*, Dr.-Ing. habil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. h. c., Evan-Pugh Res. Professor an der Pennsylvania State University, University Park, Penn./USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing. E. h., Professor in Münster.
- 1954 *Max Strutt*, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Höhere Elektrotechnik an an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich/Schweiz.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. h. c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr. phil., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N.Y./USA.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann*, Dr. sc. nat. habil., Dr. rer. nat. e. h., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Kármán* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., mult., LL. D., Professor am California Institute of Technology, Pasadena, Calif./USA.
- 1961 *Kurt Paul Klöppel* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1962 *Walter Schottky* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., Dr. techn. E. h., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe*, Dr. phil., Dr. h. c., Dr. rer. nat. h. c. mult., em. o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.

- 1964 *Carl Wagner* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Dr.-Ing. E. h., Professor und vormalig Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.
- 1965 *Albert Betz* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. sc. techn. h. c., Professor und vormalig Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.
- 1966 *Wilhelm Becker*, Dr. phil., Dr. h. c., em. o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel/Schweiz.
- 1967 *Henry Görtler* †, Dr. phil. habil., LL. D. h. c., em. o. Professor der Mathematik und vormalig Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Universität Freiburg i. Br.
- 1968 *Egon Orowan*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass./USA.
- 1969 *E. Arne Bjerhammer*, tekn. dr., Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Högskolan in Stockholm/Schweden.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr. rer. nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik an dem Polytechnischen Institut Bukarest und vormalig Direktor des Institut de Mécanique des Fluides „Traian Vuia“ in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger*, Dr. rer. techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen und vormalig Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz.
- 1972 *Hubert Rüsch* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und vormalig Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann*, Dr. techn., Ph. D., Sc. D., Dr. rer. nat. h. c., Dr. Sc. h. c., o. Professor für Anorganische Chemie an der Technischen Universität Wien/Österreich.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dr. h. c., Professor, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i. R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill*, FRS, FRAeS, Hon. D. Sc. mult., Professor für Mathematik an der University of Cambridge/Großbritannien.
- 1977 *Walter Maurice Elsasser*, Dr. phil., o. Professor für Geophysik an der Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland/USA.
- 1977 *Helmut Moritz*, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Geodäsie an der Technischen Universität Graz/Österreich.
- 1977 *László Fejes Tóth*, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest/Ungarn.
- 1978 *Ulrich Grigull*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Thermodynamik an der Technischen Universität München.



- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt*, Dr. phil., em. o. Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen.
- 1980 *Hans Kuhn*, Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c., Professor und vormals Direktor am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen.
- 1981 *Martin Kneser*, Dr. rer. nat., o. Professor für Mathematik an der Universität Göttingen.
- 1982 *Walter Burkert*, Dr. phil., o. Professor für Klassische Philologie an der Universität Zürich/Schweiz.
- 1983 *Leopold Müller* †, Dr. techn., Dr. mont. h.c., Honorarprofessor an der Universität Salzburg (Felsmechanik), Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking*, Dr. rer. nat., o. Professor und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik der Technischen Universität Aachen.
- 1985 *Gerhard Ertl*, Dr. rer. nat., Professor und Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin.
- 1986 *Arno Borst*, Dr. phil., o. Professor für Geschichte des Mittelalters an der Universität Konstanz.
- 1987 *Olgierd Cecil Zienkiewicz*, FRS, Ph. D., D. Sc., Hon. D. Sc. mult., Professor of Civil Engineering an der University of Wales, Swansea/Großbritannien.
- 1988 *Heinz Brauer*, Dr.-Ing., Professor für chemische Ingenieurtechnik an der Technischen Universität Berlin.
- 1989 *Herbert Walther*, Professor für Experimentalphysik an der Universität München und Direktor des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching.

## Mitgliederverzeichnis

(Stand 31.12.1989)

### Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Fallersleber-Tor-Wall 16, 3300 Braunschweig

Telefon: (05 31) 391-45 96

*Präsident:* Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Oberbeck  
(bis 31.12.1989)

*Generalsekretär:* Prof. Dr. phil. Dipl.-Ing. Harmen Thies  
(bis 31.12.1991)

*Geschäftsstelle:* Frau Hannelore Haubold (Büroleiterin)  
Frau Gabriele Köppelmann-Müller

### Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

*Vorsitzender:* Prof. Dr.-Ing. Otto K. Rosenbach (bis 31.12.1988)

#### *Ordentliche Mitglieder:*

Becker, Gerhard (21.12.1916), Dr. rer. nat., Dr.-Ing. h. c., Ltd. Dir. u. Prof. i. R.  
(Physik, PTB Braunschweig), Dießelhorststraße 32, 3300 Braunschweig

Bogen, Hans Joachim (19.11.1912), Dr. rer. nat., Prof. em. (Botanik, TU Braunschweig), Wendentorwall 15b, 3300 Braunschweig

Cramer, Friedrich (20.9.1923), Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Organische Chemie, MPI für Experimentelle Medizin, Göttingen), Jacob-Henle-Straße 18, 3400 Göttingen

Dieminger, Walter (7.7.1907), Dr. rer. techn., apl. Prof. u. Dir. i. R. (Aeronomie, MPI für Aeronomie, Lindau), Berliner Straße 14, 3412 Nörten-Hardenberg 1

Grützmaker, Martin (10.11.1901), Dr. phil. habil., Honorarprof. u. Ltd. Dir. a. D. (Akustik, PTB Braunschweig), Sulzbacher Straße 36, 3300 Braunschweig

Gundermann, Karl-Dietrich (20.2.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Organische Chemie, TU Clausthal), Birckenbachstraße 2, 3392 Clausthal-Zellerfeld

Hartmann, Thomas (2.2.1937), Dr. rer. nat., Prof. (Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig), Walter-Hans-Schultze-Straße 21, 3300 Braunschweig

Haul, Robert (31.5.1912), Dr.-Ing. habil., Prof. em. (Physikalische Chemie, Universität Hannover), Schellingstraße 5, 3000 Hannover 61

Hövermann, Jürgen (15.3.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Geographie, Universität Göttingen), Nelkenstraße 10, 3410 Northeim-Hillerse

Hopf, Henning (13.12.1940), Dr. phil., Prof. (Organische Chemie, TU Braunschweig), Dürerstraße 8, 3300 Braunschweig

- Kanold, Hans-Joachim (29.7.1914), Dr. rer. nat. habil., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Gldenstrae 41, 3300 Braunschweig
- Kersten, Martin (28.4.1906), Dr.-Ing., Honorarprof. u. Prs. i. R. (Physik, PTB Braunschweig), Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig
- Kertz, Walter (29.2.1924), Dr. rer. nat., Prof. (Geophysik und Meteorologie, TU Braunschweig), Pestalozzistraße 2, 3300 Braunschweig
- Keßler, Franz Rudolf (11.8.1927), Dr. phil., Prof. Hon., Prof. (Physik, TU Braunschweig, Am Walde 42, 3300 Braunschweig
- Kowalsky, Hans-Joachim (16.7.1921), Dr. rer. nat., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 20, 3340 Wolfenbüttel
- Kroepelin, Hans (28.12.1901), Dr. phil., Prof. em. (Chemische Technologie, TU Braunschweig), Hermann-Riegel-Straße 12, 3300 Braunschweig
- Maaß, Günter (7.1.1934), Dr. rer. nat., Prof. (Biophysikalische Chemie, Medizinische Hochschule Hannover), Im Eichholz 27, 3000 Hannover 51
- Mller, Georg (1.10.1930), Dr. rer. nat., Prof. (Mineralogie und Petrographie, TU Clausthal), Einersberger Blick 27, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Mller, Hans Robert (26.10.1911), Dr. phil., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 49, 3340 Wolfenbüttel
- Pilger, Andreas (19.12.1910), Dr. phil. habil., Prof. em. (Geologie und Paläontologie, TU Clausthal), Berliner Straße 125, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Richter, Egon (24.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Sommerlust 33, 3300 Braunschweig
- Röhrs, Manfred (22.9.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie, Tierärztliche Hochschule Hannover), Im Dorffeld 43, 3005 Hemmingen
- Rosenbach, Otto K. (25.9.1914), Dr.-Ing., Prof. em. (Geophysik, TU Clausthal), Hopfengarten 40, 3388 Bad Harzburg 1
- Schottlaender, Stefan (15.1.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückauf-Weg 8, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Schügerl, Karl (22.6.1927), Dr. rer. nat., Dipl.-Ing., Prof. (Technische Chemie, Universität Hannover), Arnumer Kirchstraße 31, 3005 Hemmingen 4
- Schumann, Hilmar (8.11.1902), Dr. phil. habil., Prof. em. (Mineralogie, TU Braunschweig), Eitelbrodstrae 3a, 3300 Braunschweig
- Schwab, Klaus (20.5.1933), Dr. rer. nat., Prof. (Geologie und Paläontologie, TU Clausthal), Berliner Straße 119, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Schwink, Christoph (20.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 21, 3300 Braunschweig
- Stahl, Wolfgang (17.8.1935), Dr. rer. nat., Dir. u. Prof. (Isotopengeochemie und -geophysik, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), Hermann-Löns-Weg 14, 3006 Burgwedel 4
- Steudel, Andreas (17.2.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Hahnensteg 41 C, 3000 Hannover 91
- Tietz, Horst (11.3.1921), Dr. phil., Prof. (Mathematik, Universität Hannover), Rddinger Straße 31, 3008 Garbsen

- Vollmar, Roland (1.11.1939), Dr.-Ing., Prof. (Informatik, TU Braunschweig), Adolfstraße 14, 3300 Braunschweig
- Wannagat, Ulrich (31.5.1923), Dr. rer. nat., Dr. techn. h.c., Prof. (Anorganische Chemie, TU Braunschweig), Antoinettenweg 9, 3340 Wolfenbüttel
- Weinert, Hanns Joachim (26.1.1927), Dr. phil., Dr. rer. nat. habil., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückauf-Weg 6, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Welling, Herbert (1.9.1929), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Nogatweg 13, 3004 Isernhagen
- Willerding, Ulrich (8.7.1932), Dr. rer. nat., apl. Prof. (Botanik, Universität Göttingen), Calsowstraße 60, 3400 Göttingen
- Winterfeldt, Ekkehard (13.5.1932), Dr. rer. nat., Prof. (Organische Chemie, Universität Hannover), Sieversdamm 34, 3004 Isernhagen 2
- Zinner, Gerwalt (30.9.1924), Dr. phil., Prof. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Am Papenholz 14, 3300 Braunschweig

*Korrespondierende Mitglieder:*

- Bartels, Heinz, Dr. med., Prof. em. (Vegetative Physiologie, Medizinische Hochschule Hannover), Am Rehberg 7, 7763 Öhningen-Wangen
- Becker, Wilhelm, Dr. phil., Dr. h.c., Prof. em. (Astronomie, Universität Basel), Im Spiegelfeld 12, CH-4102 Binningen ü. Basel/Schweiz
- Elsasser, Walter M., Dr. phil., Prof. (Physik), Department of Earth and Planetary Sciences, Johns Hopkins University Baltimore, Maryland 21218/USA
- Engelhardt, Wolf, Freiherr von, Dr. phil., Prof. em. (Mineralogie und Petrographie), Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Tübingen, Wilhelmstraße 56, 7400 Tübingen 1
- Ertl, Gerhard, Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Physikalische Chemie, Fritz-Haber-Institut, Max-Planck-Gesellschaft), Garystraße 18, 1000 Berlin 33
- Gutmann, Viktor, Dr. techn., Ph. D., Sc. D., Dr. rer. nat. h.c., Dr. Sc. h.c., Prof. (Chemie), Institut für Anorganische Chemie, TH Wien, Getreidemarkt 9, A-1060 Wien/Österreich
- Haken, Hermann, Dr. rer. nat., Dr. h.c. mult., Prof. (Theoretische Physik, Universität Stuttgart), Sandgrubenstraße 1, 7032 Sindelfingen
- Hengge, Edwin Franz Kurt, Dr. techn., Prof. (Anorganische Chemie, TU Graz), Ziegelstraße 9z, A-8045 Graz/Österreich
- Inhoffen, Hans Herloff, Dr. phil., Dr. med. h.c., Prof. em. (Organische Chemie, TU Braunschweig), Lorettostieg 34a, 7750 Konstanz
- Kaluza, Theodor, Dr. rer. nat., Prof. em. (Mathematik, Universität Hannover), Nötelweg 4, 3000 Hannover 91
- Kippenhahn, Rudolf, Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Astrophysik, Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik), Föhringer Ring 6, 8000 München
- Kneser, Martin, Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, Universität Göttingen), Guldenhagen 5, 3400 Göttingen

- Kreutzkamp, Norbert, Dr. phil., Prof. (Pharmazeutische Chemie), Institut für Pharmazeutische Chemie, Universität Hamburg, Laufgraben 28, 2000 Hamburg 13
- Kuhn, Hans, Dr. phil., Prof. u. Dir. i. R. (Biophysikalische Chemie, MPI für biophysikalische Chemie), Ringoldswilstraße 50, CH-3656 Tschingel ob Gunten/Schweiz
- Mensching, Horst, Dr. rer. nat., Prof. em. (Geographie, Universität Hamburg), Heinz-Hilpert-Straße 10, 3400 Göttingen
- Schaller, Friedrich, Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie), Zoologisches Institut, Universität Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1 A, A-1010 Wien/Österreich
- Schmitz, Rudolf, Dr. phil., Prof. (Geschichte und Pharmazie, Universität Marburg), Roter Graben 10, 3550 Marburg
- Scriba, Christoph J., Dr. rer. nat., Prof. (Geschichte der Naturwissenschaften, Universität Hamburg), Bellevue 23, 2000 Hamburg 60
- Tóth, Laszló Fejes, Dr., Prof. (Mathematik), Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences Realtanoda U. 13–15, Budapest V/Ungarn
- Unsöld, Albrecht, Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c. mult., Dr. Sc. h.c., Prof. em. (Theoretische Physik und Astronomie, Universität Kiel), Sternwartenweg 17, 2300 Kiel 1
- Voronkov, Michael Gregor, Dr. rer. nat., Dr. h.c., Prof. u. Dir. (Chemie), Siberian Division of the Academy of Sciences of the USSR, Institute of Organic Chemistry, 1 Favorsky Street, 664033 Irkutsk/UdSSR

### **Klasse für Ingenieurwissenschaften**

*Vorsitzender:* Prof. Dr.-Ing. Rudolf Jeschar (bis 31. 12. 1991)

#### *Ordentliche Mitglieder:*

- Baehr, Hans Dieter (24. 6. 1928), Dr.-Ing., Dr. E.h., Prof. (Thermodynamik, Universität Hannover), Max-Eyth-Straße 54, 3000 Hannover 1
- Batel, Wilhelm (3. 11. 1922), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Verfahrenstechnik, FAL Braunschweig), Peter-Joseph-Krahe-Straße 8, 3300 Braunschweig
- Blenk, Hermann (9. 12. 1901), Dr. phil., Prof. em. (Flugmechanik, TU Braunschweig), Margaretenhöhe 32, 3300 Braunschweig
- Bohnet, Matthias (20. 7. 1933), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrens- und Kerntechnik, TU Braunschweig), Otto-Hahn-Straße 45, 3300 Braunschweig
- Brethauer, Karlheinz (5. 3. 1922), Dr.-Ing., Prof. (Elektrotechnik, TU Clausthal), Berliner Straße 45, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Dizioğlu, Bekir (13. 12. 1920), Dr.-Ing., Prof. (Getriebelehre und Maschinendynamik, TU Braunschweig), Marienburgweg 36, 3340 Wolfenbüttel
- Erdmann-Jesnitzer, Friedrich (3. 5. 1912), Dr.-Ing. habil., Dr. ir. h.c., Prof. em. (Werkstoffkunde, Universität Hannover), Im Dorffeld 66, 3005 Hemmingen 1
- Funke, Paul (5. 2. 1930), Dr.-Ing., Prof. (Werkstoffumformung, TU Clausthal), Schulstraße 15, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Groth, Klaus (8. 12. 1923), Dr.-Ing., Prof. (Kolbenmaschinen, Universität Hannover), Holzwiesen 4, 3005 Hemmingen-Westerfeld

- Haeßner, Frank (6.1.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Werkstoffkunde und Herstellungsverfahren, TU Braunschweig), Julius-Leber-Straße 46, 3300 Braunschweig
- Hennicke, Hans Walter (22.1.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Keramik und Email, TU Clausthal), Am Turmhof 8, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Jeschar, Rudolf (17.6.1930), Dr.-Ing., Prof. (Energieverfahrenstechnik, TU Clausthal), Roseneck 1, 3380 Goslar
- Kind, Dieter (5.10.1929), Dr.-Ing., Dr. h.c., Honorarprof. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig) u. Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Knappstraße 4, 3300 Braunschweig
- Lautz, Günter (15.11.1923), Dr. rer. nat., Prof. (Elektrophysik, TU Braunschweig), Fallsteinweg 97, 3340 Wolfenbüttel
- Leilich, Hans-Otto (28.11.1925), Dr.-Ing., Prof. (Datenverarbeitungsanlagen, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 61a, 3340 Wolfenbüttel
- Leonhard, Werner (25.5.1926), Dr.-Ing., Dr. h.c., Prof. (Regelungstechnik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 32, 3340 Wolfenbüttel
- Leschonski, Kurt (17.12.1930), Dr.-Ing., Prof. (Mechanische Verfahrenstechnik, TU Clausthal), Am Dammgraben 20, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Mahrenholtz, Oskar (17.5.1931), Dr.-Ing., Prof. (Mechanik, TU Hamburg-Harburg), Eißendorfer Winkel 9, 2100 Hamburg 90
- Marx, Claus (21.8.1931), Dr.-Ing., Prof. (Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung, TU Clausthal), Am Kleikamp 15, 3014 Laatzen 5
- Matthies, Hans Jürgen (6.11.1921), Dr.-Ing., Prof. (Landmaschinen, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 15, 3300 Braunschweig
- Mitschke, Manfred (5.5.1929), Dr.-Ing., Prof. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Alter Rautheimer Weg 38, 3300 Braunschweig
- Musmann, Hans Georg (14.8.1935), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, Universität Hannover), Heckenrosenweg 24, 3320 Salzgitter-Bad
- Pahlitzsch, Gotthold (19.4.1903), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Werkzeugmaschinen u. Fertigungstechnik, TU Braunschweig), Hermann-Riegel-Straße 15, 3300 Braunschweig
- Rögener, Heinz (20.9.1913), Dr. phil., Prof. em. (Thermodynamik, Universität Hannover), Asselweg 10B, 3008 Garbsen
- Ruge, Jürgen (14.5.1921), Dr.-Ing., Prof. (Schweißtechnik und Werkstofftechnologie, TU Braunschweig), Waldstraße 16, 8034 Germering
- Rummel, Theodor (30.5.1910), Dr.-Ing. habil., Prof. em. (Elektrowärme, Universität Hannover), Leerbichl-Allee 20, 8022 Grünwald
- Schönfelder, Helmut (3.4.1926), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Liegnitzer Straße 22, 3340 Wolfenbüttel
- Schwerdtfeger, Klaus (16.9.1934), Dr.-Ing., Prof. (Allgemeine Metallurgie, TU Clausthal), Zeppelinstraße 28, 3380 Goslar
- Thoma, Manfred (24.2.1929), Dr.-Ing., Prof. (Regelungstechnik, Universität Hannover), Westermannweg 7, 3000 Hannover 21

Tönshoff, Hans Kurt (14.5.1934), Dr.-Ing., Prof. (Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Universität Hannover), Bruchholziesen 10, 3006 Burgwedel 1

Unger, Hans-Georg (14.9.1926), Dr.-Ing., Dr. h.c., Prof. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 10, 3300 Braunschweig

Weh, Herbert (1.3.1928), Dr.-Ing., Prof. (Starkstromtechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 20, 3300 Braunschweig

von Zabeltitz, Christian (7.8.1932), Dr.-Ing., Prof. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Hellwiesen 3, 3002 Wedemark 9 (Meitze)

#### *Korrespondierende Mitglieder:*

Beneking, Heinz, Dr. rer. nat., Prof. (Halbleitertechnik, TH Aachen), Templergraben 55, 5100 Aachen

Bosnjaković, Fran, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Dr. h.c., Prof. em. (Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt, Universität Stuttgart), Umgelterweg 17D, 7000 Stuttgart 1

Gersten, Klaus, Dr.-Ing., Prof. (Thermo- und Fluidodynamik, Universität Bochum), Hofleite 15, 4630 Bochum

Grigull, Ulrich, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Thermodynamik, TU München), Heinrich-Vogl-Straße 1, 8000 München 71

Kröner, Ekkehart, Dr. rer. nat., Prof. em. (Theoretische Physik, Universität Stuttgart), Bardiliweg 6, 7000 Stuttgart 1

Krüger, Gerhard, Dr.-Ing., Prof. em. (Wirtschaftswissenschaften, Universität Karlsruhe), Gorch-Fock-Straße 4/309, 2000 Wedel (Holst.)

Mayering, Franz, Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik, TU München), Am Haselnußstrauch 18, 8000 München 45

Schlitt, Herbert, Dr. phil. nat., Prof. (Regelungstechnik), Institut für Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, Egerlandstraße 5, 8520 Erlangen

Strutt, M.J.O., Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Höhere Elektrotechnik, ETH Zürich), Krähbühlstraße 59, CH-8044 Zürich/Schweiz

Truckenbrodt, Erich, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Strömungsmechanik, TU München), Joseph-Wirth-Straße 12, 8022 Grünwald

#### **Klasse für Bauwissenschaften**

*Vorsitzender:* Prof. Dr.-Ing. Justus Herrenberger (bis 31.12.1990)

#### *Ordentliche Mitglieder:*

Billib, Herbert (21.10.1904), Dr.-Ing., Dr. nat. techn. h.c., Prof. em. (Wasserwirtschaft, Hydrologie, Landwirtschaftlicher Wasserbau, Universität Hannover), Franzenbaderhof 9, 3000 Hannover 71

Buchwald, Konrad (16.2.1914), Dr. phil. nat. habil., Prof. em. (Landespflege, Universität Hannover), Große Heide 33, 3000 Hannover 51

Duddeck, Heinz (14.5.1928), Dr.-Ing., Dr. h.c., Prof. (Statik, TU Braunschweig), Greifswaldstraße 38, 3300 Braunschweig

- Esslinger, Maria (4. 3. 1913), Dr.-Ing., apl. Prof. (Statik, DFVLR Braunschweig), Busardweg 2, 3300 Braunschweig
- Führböter, Alfred (26. 3. 1931), Dr.-Ing., Prof. (Hydromechanik und Küstenwasserbau, TU Braunschweig), Joseph-Frauenhofer-Straße 35, 3300 Braunschweig
- Gerke, Karl (10. 8. 1904), Dr.-Ing., Prof. em. (Geodäsie, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 19, 3300 Braunschweig
- Hake, Günter (27. 5. 1922), Dr.-Ing., Dr. phil. h.c., Prof. (Topographie und Kartographie, Universität Hannover), Börie 58, 3005 Hemmingen 1
- Henn, Walter (20. 12. 1912), Dr.-Ing., Dr. techn. h.c., Prof. em. (Baukonstruktionen und Industriebau, TU Braunschweig), Petritorwall 20, 3300 Braunschweig
- Herrenberger, Justus (27. 5. 1920), Dr.-Ing., Prof. em. (Baukonstruktion, TU Braunschweig), Ginsterweg 22, 3300 Braunschweig
- Hoeltje, Georg (16. 3. 1906), Dr. phil., Prof. em. (Bau- und Kunstgeschichte, Universität Hannover), Alte Herrenhäuser Straße 11c, 3000 Hannover 21
- Höpcke, Walter (19. 8. 1908), Dr.-Ing., Prof. em. (Allgemeine Vermessungskunde, Universität Hannover), Kühnsstraße 82, App. 228, 3000 Hannover 71
- Konecny, Gottfried (17. 6. 1930), Dr.-Ing., Prof. (Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover), Wartheweg 22, 3000 Hannover 73
- Kordina, Karl (7. 8. 1919), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Stahlbeton- und Massivbau, TU Braunschweig), Im Heidekamp 13, 3300 Braunschweig
- Mecke, Wilhelm (12. 8. 1907), Dr.-Ing., Prof. em. (Straßenwesen und Erdbau, TU Braunschweig), Pascheburggring 8, 3410 Northeim 1
- Möller, Dietrich (18. 2. 1927), Dr.-Ing., Prof. (Vermessungskunde, TU Braunschweig), Steinkamp 6, 3306 Lehre 1
- Natke, Hans Günther (9. 5. 1933), Dr. rer. nat., Prof. (Schall- und Meßtechnik, Universität Hannover), Pyrmonter Straße 51, 3000 Hannover 91
- Partenscky, Hans-Werner (3. 4. 1926), Dr.-Ing., Dr. phys., Prof. (Verkehrswasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover), Wiehbergstraße 20, 3000 Hannover 81
- Pelzer, Hans (20. 1. 1936), Dr.-Ing., Prof. (Vermessungskunde, Universität Hannover), Am Leinewehr 25, 3000 Hannover 81
- Pierick, Klaus (19. 2. 1928), Dr.-Ing., Prof. (Verkehr, Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig), Am Uhlenbusch 31, 3300 Braunschweig
- Renard, Walter (12. 5. 1904), Dipl.-Ing., Prof. em. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Bevenser Weg 10, 3000 Hannover 61
- Rostásy, Ferdinand Stefan (4. 5. 1932), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffe und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Nietzschestraße 26, 3300 Braunschweig
- Rothert, Heinrich (5. 12. 1938), Dr.-Ing., Prof. (Statik, Universität Hannover), Feldbrunnenstraße 15, 2000 Hamburg 13
- Scheer, Joachim (5. 3. 1927), Dr.-Ing., Prof. (Stahlbau, TU Braunschweig), Wartheweg 20, 3000 Hannover 71
- Stein, Erwin (5. 7. 1931), Dr.-Ing., Prof. (Baumechanik, Universität Hannover), Am Ortfelde 124, 3004 Isernhagen 2 (NB)



- Weimann, Günter (6.6.1921), Dr.-Ing., Prof. em. (Photogrammetrie und Kartographie, TU Braunschweig), Knupfertal 40, 7920 Heidenheim 5
- Wierig, Hans-Joachim (22.6.1927), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffkunde, Universität Hannover), Hindenburgallee 31, 3007 Gehrden
- Wortmann, Wilhelm (15.3.1897), Dipl.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Stadt- und Regionalplanung, Universität Hannover), Morgensternweg 10, 3000 Hannover 21

*Korrespondierende Mitglieder:*

- Bjerhammer, Arne, tekn. dr., Prof. (Geodäsie), Institutionen för Geodesi, Kungl. Tekniska Högskolan, S-10044, Stockholm 70 / Schweden
- Garbrecht, Günther, Dr.-Ing., Dr. sc. h.c., Prof. (Wasserbau, Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, TU Braunschweig), Drosselweg 15, 3301 Lagesbüttel
- Habekost, Heinrich, Dipl.-Ing., Prof. em. (Städtebau, Straßenbau, Tiefbau, TU Braunschweig), Drusenbergstraße 95, 4630 Bochum
- Hofmann, Wilhelm, Dr.-Ing., Prof. em. (Baukonstruktion und Entwerfen, Universität Hannover), Mayr-Graz-Weg 22, 8110 Murnau
- Kistenmacher, Hans, Dr. rer. pol., Prof. (Regional- und Landesplanung, Universität Kaiserslautern), Friedrich-Ebert-Straße 1, 6719 Neuleiningen
- Kracke, Rolf, Dr.-Ing., Prof. (Verkehrs- und Eisenbahnwesen, Universität Hannover), Buchenweg 4, 3003 Ronnenberg 3, OT Benthe
- Kraemer, Friedrich-Wilhelm, Dr.-Ing., Prof. em. (Architektur, TU Braunschweig), Am Römerturm 3, 5000 Köln 1
- Moritz, Helmut, Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Erdmessung und physikalische Geodäsie, TU Graz), Maria-Troster-Straße 114, A-8043 Graz/Österreich
- Pieper, Klaus, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Statik, TU Braunschweig), Ginsterweg 13, 3300 Braunschweig
- Spengelin, Friedrich (29.3.1925), Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Universität Hannover), Habichtshorststraße 12, 3000 Hannover
- Stracke, Ferdinand (27.5.1935), Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau und Regionalplanung, Technische Universität München), Karlstraße 43/II, 8000 München 2
- Torge, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. (Theoretische Geodäsie, Universität Hannover), Mönchekamp 4A, 3000 Hannover 91
- Triebel, Wolfgang, Dr.-Ing., Honorarprof. (Bauforschung, Universität Hannover), Max-Eyth-Straße 48, 3000 Hannover
- Wolf, Helmut, Dr.-Ing., Dr. sc. techn. h.c., Dr. phil. h.c., Dr. h.c., Prof. em. (Geodäsie, Universität Bonn), Am Sonnenhang 10, 5300 Bonn-Ippendorf
- Zerna, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. em. (Konstruktiver Ingenieurbau, Universität Bochum), Am Wittenstein, 4320 Hattingen

**Klasse für Geisteswissenschaften***Vorsitzender:* Prof. Dr. phil. Heribert Boeder (bis 31.12.1989)*Ordentliche Mitglieder:*

- Boeder, Heribert (17.11.1928), Dr. phil., Prof. (Kultur- und Geowissenschaften, Universität Osnabrück), Heinrichstraße 37, 4500 Osnabrück
- Ehlers, Joachim (31.5.1936), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig), Sprottaustraße 1, 3300 Braunschweig
- Ganz, Peter (3.11.1920), Dr. phil., Prof. (Germanistik), Oranje Nassaulaan 27, NL-2361 LB Warmond
- Gosebruch, Martin (20.6.1919), Dr. phil., Prof. em. (Kunstgeschichte, TU Braunschweig), Gieselerwall 4, 3300 Braunschweig
- Henne, Helmut (5.4.1936), Dr. phil., Prof. (Germanistische Linguistik, TU Braunschweig), Platanenstraße 27, 3340 Wolfenbüttel
- Kamp, Norbert (24.8.1927), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig), Leipziger Straße 236B, 3300 Braunschweig
- Killy, Walther (26.8.1917), Dr. phil., Prof. (Deutsche Literaturwissenschaften, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Calsowstraße 17, 3400 Göttingen
- König, Joseph (24.9.1915), Dr. phil., Archivdirektor a.D. (Geschichte), Paracelsusstraße 24, 3340 Wolfenbüttel
- Lohse, Eduard (19.2.1924), Dr. theol. D., Honorarprof. u. Landesbischof (Ev.-luth. Landeskirche Hannover), Ernst-Curtius-Weg 7, 3400 Göttingen
- Maurach, Gregor (3.3.1932), Dr. phil., Prof. (Lateinische Philologie, TU Braunschweig), Am Sportplatz 7b, 3305 Evessen
- Mohr, Hans-Heinrich (1.6.1917), Dr. rer. pol. (Versicherungswissenschaften), Am Bürgerpark 4a, 3300 Braunschweig
- Müller, Gerhard (10.5.1929), Dr. theol., D.D., Honorarprof. u. Landesbischof (Ev.-luth. Landeskirche Braunschweig), Salzdahlumer Straße 43, 3340 Wolfenbüttel
- Nitz, Hans-Jürgen, Dr. phil., Prof. (Kulturgeographie, Universität Göttingen), Krambach 31, 3406 Bovenden
- Oberbeck, Gerhard (5.10.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Geographie und Wirtschaftsgeographie, Universität Hamburg), Ginsterweg 4, 2087 Ellerbek
- Olsen, Karl Heinrich (20.12.1908), Dr. rer. techn. habil., apl. Prof. entpfl., Ltd. Dir. i. R. (Agrarpolitik, Landwirtschaftliche Betriebslehre, Wirtschaftsgeographie), Saarstraße 5, 3300 Braunschweig
- Raabe, Paul (21.2.1927), Dr. phil. habil., Dr. h.c. mult., apl. Prof. und Direktor (Herzog-August-Bibliothek), Lessingstraße 11, 3340 Wolfenbüttel
- Rosen, Edgar R. (18.6.1911), Dr. phil., Prof. em. (Politikwissenschaft, TU Braunschweig), Jasperallee 7, 3300 Braunschweig
- Schillemeit, Jost (18.2.1931), Dr. phil., Prof. (Deutsche Literaturwissenschaft, TU Braunschweig), Friedensallee 48, 3300 Braunschweig

- Thieme, Werner (13.10.1923), Dr. jur., Prof. (Verwaltungslehre, Universität Hamburg), Am Karpfenteich 58, 2000 Hamburg 63
- Thies, Harmen (26.12.1941), Dipl.-Ing., Dr. phil., Prof. (Baugeschichte, TU Braunschweig), Adolfstraße 55, 3300 Braunschweig
- Wilhelm, Herbert (8.6.1922), Dr. oec., Prof. (Volkswirtschaftslehre, TU Braunschweig), Hirschbergstraße 16, 3300 Braunschweig

*Korrespondierende Mitglieder:*

- Beumann, Helmut, Dr. phil. habil., Dr. phil. E.H., Prof. em. (Mittelalterliche Geschichte, Universität Marburg), Am Glaskopf 7, 3550 Marburg/Lahn
- Borst, Arno, Dr. phil., Prof. (Geschichte des Mittelalters, Universität Konstanz), Längerbohlstraße 42, 7750 Konstanz
- Burkert, Walter, Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Zürich), Wildsbergstraße 8, CH-8610 Uster/Zürich (Schweiz)
- Dörig, José, Dr. phil., Prof. (Archäologie, Universität Genf), 12, chemin des Manons, CH-1218 Grand Saconnex, Genf/Schweiz
- Elbern, Victor H., Dr. phil., Honorarprof., (Kunstgeschichte, Freie Universität Berlin), Ilsesteinweg 42, 1000 Berlin 38
- Garrigues, Marie-Odile, Dr. phil., Prof. (Philosophie und Theologie), Via San Damaso 49, I-00165 Rom/Italien
- Goetting, Hans, Dr. phil., Prof. (Historische Hilfswissenschaften, Universität Göttingen), Waitzweg 7, 3400 Göttingen
- Hubala, Erich, Dr. phil., Prof. em. (Kunstgeschichte, Universität Würzburg), Liebigstraße 15, 8000 München 22
- Neumann, Günter, Dr. phil., Prof. em., Thüringer Straße 20, 8700 Würzburg
- Narkiss, Bezalel, Dr. phil., Prof. (Department of Art History u. Dir. des Index of Jewish Art, Hebrew University Jerusalem), The Hebrew University, Jerusalem/Israel
- Lavrov, Serquei, Dr., Prof. (Ökonomische Geographie, Universität Leningrad), Universität Leningrad, Leningrad/UdSSR
- Oexle, Otto Gerhard (28.8.1939), Dr. phil., Prof. u. Dir. (Geschichte, MPI für Geschichte, Göttingen), Planckstraße 15, 3400 Göttingen
- Peroni, Adriano, Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Florenz), Via Lungo L'Affrico 164, I-50137 Firenze/Italien
- Rambaldi, Enrico, Dr. phil., Prof. (Philosophie, Universität Mailand), Via Monte Bianco 36, I-20149 Milano/Italien
- Raupach, Hans, Dr. jur. habil., Prof. em. (Soziologie, Universität München), Groffstraße 20, 8000 München 19
- Rosen, Stanley, Dr. phil., Prof. (Philosophie), Pennsylvania State University, 1256 South Garner Street, State College, Pennsylvania 16801/USA
- Tsujimura, Koichi, Dr. phil., Prof. (Philosophie, Universität Kyoto), Sakyoku, Kamitakano, Higashida-cho 12, J-606 Kyoto/Japan

Voppel, Götz, Dr. rer. pol., Prof. (Wirtschafts- und Sozialgeographie, Universität Köln), Neckarstraße 58, 5000 Köln 90

Zeitler, Rudolf, Dr. phil., Prof. em. (Kunstgeschichte, Universität Uppsala), Regngatan 16, S-75431 Uppsala/Schweden



